

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

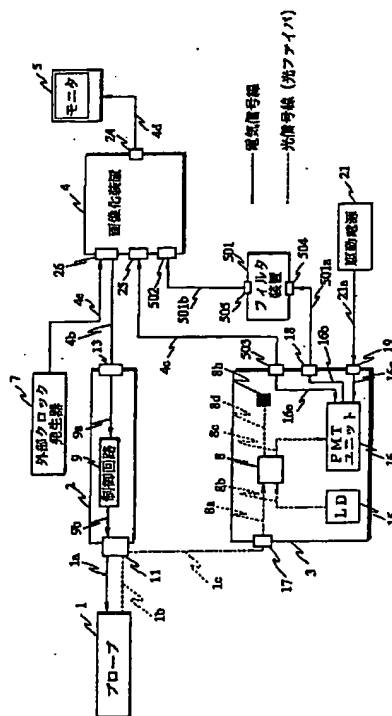
Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**



【特許請求の範囲】

【請求項1】 一方の方向に駆動しなおかつそれと他方の方向に駆動するスキャナを有するプローブと、前記スキャナを駆動する制御装置と、被検部に光を照射する光源と、前記光源からの光をプローブ先端に導くための光ファイバと、前記光ファイバからの光を被検部に合焦させ、被検部からの光を前記光ファイバ端面に集光させる合焦手段と、前記被検部からの戻り光の少なくとも一部を光源からの光の光路から分離する分離手段と、前記分離された光を検出する検出器と、前記検出器からの信号をA/D変換して画像化する画像化装置と、画像を表示するモニタとを有する共焦点光走査プローブ装置において、

前記検出器からの信号のうち、少なくとも概直流信号成分を除去するフィルタ装置を有することを特徴とする共焦点光走査プローブ装置。

【請求項2】 前記スキャナは、一方の方向に高速に駆動し、なおかつそれと直交する方向に低速に駆動する2次元スキャナであることを特徴とする請求項1に記載の共焦点光走査プローブ装置。

【請求項3】 前記フィルタ装置は、前記検出器からの電気信号のうちの高周波成分のみを通過する高域通過フィルタ回路を有することを特徴とする請求項1に記載の共焦点光走査プローブ装置。

【請求項4】 前記高域通過フィルタ回路は、高域通過カットオフ周波数が、少なくとも前記スキャナの低速側駆動周波数以下であることを特徴とする請求項3に記載の共焦点光走査プローブ装置。

【請求項5】 前記フィルタ装置は、前記検出器からの電気信号のうちの低周波成分のみを通過する低域通過フィルタ回路を有することを特徴とする請求項1に記載の共焦点光走査プローブ装置。

【請求項6】 前記低域通過フィルタ回路は、低域通過カットオフ周波数が、少なくとも以下の式を満たすことを特徴とする請求項5に記載の共焦点光走査プローブ装置。

$$f_{lc} \leq (X \times f_x) / r$$

f_{lc} : 低域通過カットオフ周波数

X : 前記スキャナの高速駆動側の走査範囲

f_x : 前記スキャナの高速駆動側の周波数

r : 前記プローブの光学的分解能

【請求項7】 前記スキャナは、半導体プロセスにより生成された2次元走査マイクロマシンミラーを有することを特徴とする請求項1に記載の共焦点光走査プローブ装置。

【請求項8】 前記スキャナは、少なくとも2つ以上の圧電素子により、前記プローブ先端部のレンズおよびファイバ端部を2次元に一体的に走査することを特徴とする請求項1に記載の共焦点光走査プローブ装置。

【請求項9】 前記高域通過フィルタ回路は、抵抗素子

およびコンデンサの組み合わせから構成されることを特徴とする請求項3に記載の共焦点光走査プローブ装置。

【請求項10】 前記高域通過フィルタ回路は、抵抗素子およびコイルの組み合わせから構成されることを特徴とする請求項3に記載の共焦点光走査プローブ装置。

【請求項11】 前記高域通過フィルタ回路は、抵抗素子とコンデンサと半導体増幅素子の組み合わせから構成されることを特徴とする請求項3に記載の共焦点光走査プローブ装置。

10 【請求項12】 前記高域通過フィルタ回路は、抵抗素子とコイルと半導体増幅素子の組み合わせから構成されることを特徴とする請求項3に記載の共焦点光走査プローブ装置。

【請求項13】 前記高域通過フィルタ回路は、抵抗素子とコンデンサとコイルと半導体増幅素子の組み合わせから構成されることを特徴とする請求項3に記載の共焦点光走査プローブ装置。

20 【請求項14】 前記低域通過フィルタ回路は、抵抗素子およびコンデンサの組み合わせから構成されることを特徴とする請求項5に記載の共焦点光走査プローブ装置。

【請求項15】 前記低域通過フィルタ回路は、抵抗素子およびコイルの組み合わせから構成されることを特徴とする請求項5に記載の共焦点光走査プローブ装置。

【請求項16】 前記低域通過フィルタ回路は、抵抗素子とコンデンサと半導体増幅素子の組み合わせから構成されることを特徴とする請求項5に記載の共焦点光走査プローブ装置。

30 【請求項17】 前記低域通過フィルタ回路は、抵抗素子とコイルと半導体増幅素子の組み合わせから構成されることを特徴とする請求項5に記載の共焦点光走査プローブ装置。

【請求項18】 前記低域通過フィルタ回路は、抵抗素子とコンデンサとコイルと半導体増幅素子の組み合わせから構成されることを特徴とする請求項5に記載の共焦点光走査プローブ装置。

40 【請求項19】 前記フィルタ装置は、前記検出器と前記画像化装置の間、前記検出器内、前記画像化装置内、あるいは前記検出器と前記画像化装置を一体化した装置内のいずれかに配置されることを特徴とする請求項1に記載の共焦点光走査プローブ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は共焦点光走査プローブ装置、更に詳しくは光学像の電気信号のノイズ除去部分に特徴のある共焦点光走査プローブ装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来技術として、特開平9-230248号公報において、マイクロ機械加工された小型の共焦点顕微鏡について開示されている。また、特開平3-8

7804号公報において、内視鏡ヘッドに搭載した小型の共焦点顕微鏡システムについて開示されている。また、特開2000-171718号公報、検出信号をA/D変換により画像化し、画素演算により輪郭強調等を行う共焦点光走査装置が開示されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】従来技術により生体の細胞などを観察する際、構成される固定反射ミラーやファイバ端面からの反射光や散乱光が、光信号の直流成分ノイズとして、観察対象の信号に加わってしまう。これにより、本来必要とする観察対象の信号が直流成分ノイズに埋もれて、十分な観察ができない可能性がある。

【0004】また、従来技術のように、検出器により検出した光信号を電気信号に変換し、それを画像化装置にて画像化する際、A/D変換が必要であるため、あらかじめ低域通過フィルタで、検出器からの電気信号を高周波成分を除去するのが一般的である。しかし、この低域通過フィルタを、A/D変換時のサンプリング周波数に近いカットオフ周波数にすると、スキャナの駆動周波数の高調波成分などの高周波ノイズが画像に入り、画質劣化の原因となる可能性がある。

【0005】また、従来技術のように、検出器により検出した光信号を電気信号に変換し、それを画像化装置にて画像化する際、A/D変換が必要であるため、あらかじめ低域通過フィルタで、検出器からの電気信号を高周波成分を除去するのが一般的である。しかし、この低域通過フィルタを、サンプリングの定理による、A/D変換時のサンプリング周波数に近いカットオフ周波数にすると、スキャナの駆動周波数の高調波成分が画像に入り、ノイズの原因となる可能性がある。

【0006】本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、ノイズが少なく、S/Nの良い、鮮明な観察画像を得ることのできる共焦点光走査プローブ装置を提供することを目的としている。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の共焦点光走査プローブ装置は、一方の方向に駆動しなおかつそれと他方の方向に駆動するスキャナを有するプローブと、前記スキャナを駆動する制御装置と、被検部に光を照射する光源と、前記光源からの光をプローブ先端に導くための光ファイバと、前記光ファイバからの光を被検部に合焦させ、被検部からの光を前記光ファイバ端面に集光させる合焦手段と、前記被検部からの戻り光の少なくとも一部を光源からの光の光路から分離する分離手段と、前記分離された光を検出する検出器と、前記検出器からの信号をA/D変換して画像化する画像化装置と、画像を表示するモニタとを有する共焦点光走査プローブ装置において、前記検出器からの信号のうち少なくとも概直流信号成分を除去するフィルタ装置を有して構成される。

【0008】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しながら本発明の実施の形態について述べる。

【0009】図1ないし図19は本発明の第1の実施の形態に係わり、図1は共焦点光走査プローブ装置の構成を示すブロック図、図2は図1のフィルタ装置の構成を示す構成図、図3は図2のHPFの周波数特性を示す図、図4は図2のHPFの作用を説明する図、図5は図2のHPFの第1の変形例の構成を示す図、図6は図2のHPFの第2の変形例の構成を示す図、図7は図2のHPFの第3の変形例の構成を示す図、図8は図2のHPFの第4の変形例の構成を示す図、図9は図2のHPFの第5の変形例の構成を示す図、図10は図2のLPFの周波数特性を示す図、図11は図2のLPFの第1の変形例の構成を示す図、図12は図2のLPFの第2の変形例の構成を示す図、図13は図2のLPFの第3の変形例の構成を示す図、図14は図2のLPFの第4の変形例の構成を示す図、図15は図2のLPFの第5の変形例の構成を示す図、図16は図1のプローブの先端部を示す断面図、図17は図16のプローブのスキャナの構造を示す断面図、図18は図17のスキャナの構造を示す平面図、図19は図17のスキャナの詳細構造を示す平面図である。

【0010】図1に示すように、本実施の形態の共焦点光走査プローブ装置1は、スキャナを有するプローブ1と、前記スキャナを駆動する制御装置2と、前記プローブ1に光を供給し、前記プローブ1からの光学像を検出して電気信号にする光学ユニット3と、前記光学ユニット3からの信号を特定の周波数成分だけ通過させるフィルタ装置501と、前記フィルタ装置501からの電気信号を画像化する画像化装置4と、前記画像化装置4からの映像を表示するモニタ5と、スキャナを駆動する駆動波形の基準となるクロックを発生させる外部クロック発生器7とを備える。これらは、次のような接続関係になっている。

【0011】プローブ1は、信号線1aを介して制御装置2と電気的かつ着脱可能に接続され、さらに光ファイバ1bにより制御装置2のコネクタ11を介して光学ユニット3のコネクタ17に光学的かつ着脱可能に接続されている。

【0012】光学ユニット3は、光源としてのレーザダイオード(以下、LDと称す)15と、フォトマルチプライアチューブ(以下、PMTと称す)ユニット16と、4端子カブラ8とからなる。

【0013】光学ユニット3において、4端子カブラ8は、4つの端部8a、8b、8c、8dを有し、端部8aは光ファイバ1cに光学的に接続され、8bはLD15に光学的に接続されている。また、端部8dは光ファイバ1cの終端8hにより終端され、端部8cはPMTユニット16に光学的に接続されている。端部8a、8dから入った光はそれぞれ分岐されて端部8b、8cに伝えられ、

逆にまた、端部8b、8cから入った光はそれぞれ分岐されて、端部8a、8dに伝えられる構成になっている。

【0014】LD15で発生するレーザ光は、端部8b、4端子カブラ8、端部8a、コネクタ11、光ファイバ1c、コネクタ11、光ファイバ1bを介してプローブ1へ伝送され、プローブ1内のスキャナ(後述)にて観察対象を2次元(XY方向)に光走査する。

【0015】プローブ1内のスキャナにて走査し、観察対象から反射する光信号は、光ファイバ1b、コネクタ11、光ファイバ1c、コネクタ17、端部8a、4端子カブラ8、端部8c、を介して、PMTユニット16に伝送され、ここで、光信号が電気信号に光電変換される。PMTユニット16で光電変換された電気信号は、信号線16b、コネクタ18、信号線501a、およびコネクタ504を介してフィルタ装置501へ伝送される。

【0016】さらにPMTユニット16は、それを駆動する駆動電源21と、信号線21a、コネクタ19、信号線16cを介して電気的に接続されている。

【0017】制御装置2において、制御回路9は、信号線9aを介してコネクタ13に接続されている。また、制御回路9は信号線9bを介してコネクタ11に電気的に接続されている。この制御回路9は、コネクタ13から信号線9aを介して入力されるスキャナ駆動信号を取り込み、これを増幅して、信号線9bを介してコネクタ11に出力できるようになっている。

【0018】画像化装置4は画像化信号を生成する装置であり、コネクタ24、25、26、502を備えている。コネクタ24にはモニタ5が信号線4dを介して電気的に接続されている。

【0019】また、画像化装置4はコネクタ26、信号線4bおよびコネクタ13を介して制御装置2に電気的に接続されている。画像化装置4のコネクタ26には、信号線4eを介して、スキャナを駆動する駆動波形の基準となるクロックを発生させる外部クロック発生器7が電気的に接続されている。

【0020】また、画像化装置4はコネクタ25、信号線4cおよびコネクタ503を介して光学ユニット3に電気的に接続され、相互に伝達可能となっており、信号線16eにより、PMTユニット16内のマルチブライアチューブの感度を制御する信号を画像化装置4から伝送する。

【0021】さらに、画像化装置4は、コネクタ502、信号線501b、コネクタ505を介してフィルタ装置501と電気的に接続されており、フィルタ装置501から出力される信号が入力される。

【0022】フィルタ装置501はPMTユニット16と、信号線16b、コネクタ18、信号線501a、コネクタ504を介して電気的に接続されて、PMTユニ

ット16内のマルチブライアチューブによって光電変換された電気信号がフィルタ装置501に入力される。フィルタ装置501において、特定の周波数成分の電気信号のみを通過させて、コネクタ505、信号線501b、コネクタ502を介して、画像化装置4へ出力される。

【0023】フィルタ装置501は、図2に示すようなフィルタ回路506を有し、フィルタ回路506は高周波帯域の周波数成分を通過させる高周波通過フィルタ(以下、HPFと称す)507、低周波帯域の周波数成分を通過させる低周波通過フィルタ(以下、LPFと称す)508からなる。

【0024】PMTユニット16からの電気信号には、プローブ1により得られる観察対象画像信号の他に、スキャナをはじめとする光学系により発生するノイズ信号も存在する。このノイズ信号を低減するために、次のように信号処理を行う。なお、ノイズ信号の発生源についての説明は後述する。

【0025】まず、PMTユニット16からの電気信号はHPF507に入力される。HPF507は抵抗R1、コンデンサC1により構成され、PMTユニット16からの電気信号のうち、図3に示すように高域通過カットオフ周波数(電気信号の利得が-3dB=約半分になる周波数)fhcより低い周波数成分の信号を減衰させる周波数特性となっている。なお、高域通過カットオフ周波数fhcは、以下で算出される。

【0026】

$$f_{hc} = 1 / (2\pi R_1 C_1) \quad (1)$$

例えば、スキャナの低速側周波数が4Hzの場合、高域通過カットオフ周波数fhcは4Hz以下(例えば1Hz)になるように、またスキャナの低速側周波数が20Hzの場合、高域通過カットオフ周波数fhcは20Hz以下(例えば10Hz)になるように、各々抵抗R1、コンデンサC1の値が決定される。

【0027】特に、高域通過カットオフ周波数fhcを限りなくゼロ(直流)に近づけると、図4に示すように、後述のプローブ1を構成する光学系による直流成分ノイズを含む電気信号(図4(a)参照)から、HPF507により直流成分ノイズを除去されて、観察対象からの電気信号を多く含む交流成分の信号が抽出される(図4(b)参照)。

【0028】なお、図2において、HPF507は抵抗R1、コンデンサC1のみで構成されているが、図5のように、抵抗RとコイルLで構成しても良い。ただし、この時の高域通過カットオフ周波数fhcは、以下のようになる。

$$f_{hc} = R / 2\pi L \quad (2)$$

また、図2におけるHPF507を、図6のように2次、あるいは図示しないがそれ以上の多段のフィルタとしても良い。もちろん、図5の構成を2次、あるいはそ

れ以上の多段としても良い。もちろん、図示しないが抵抗とコンデンサ、抵抗とコイルとの多段のフィルタとしても良い。

【0030】また、抵抗、コンデンサ、コイル等の受動素子によりフィルタを構成する代わりに、図7のように、オペアンプなどの能動素子を使ったアクティブフィルタとしても良い。もちろん、抵抗とコンデンサの代わりに、図示しないが抵抗とコイルとしても良い。

【0031】また、図7に加えて、抵抗とコンデンサを図8のように2次、あるいは図示しないがそれ以上の多段のフィルタとしても良い。もちろん、抵抗とコンデンサの代わりに、図示しないが抵抗とコイルとしても良い。

【0032】さらに、図7と図8を組合せて、図9のように複数のオペアンプによる多次（図9の場合は5次）のアクティブフィルタとしても良い。もちろん、図示しないが図2、5、6、7、8、9の組み合わせによって考えられるフィルタ、あるいはその他の素子を含んだ構成で同様の機能を有するフィルタであれば何でも良い。

【0033】また、図2、5、6、7、8、9あるいはそれらの組み合わせによって構成されるフィルタにおいて、抵抗、コンデンサ、コイル等の値を適切に設定して、利得を必要に応じて1あるいは1以外になるように

$$f_{spl} = f_x \times (2X/r) = (2 \times X \times f_x) / r \quad (4)$$

サンプリングの定理により、画像化装置4への出力は、 $f_{spl}/2$ 以下に低域通過カットオフ周波数を設定する必要があるため、低域通過カットオフ周波数 f_{lc} は、以

$$f_{lc} \leq f_{spl}/2 = (X \times f_x) / r \quad (5)$$

以上により、例えば、スキヤナの走査範囲が100 μ m、高速駆動側周波数 f_x が500Hz、光学的解像度が0.5 μ mの場合、式(5)より、低域通過カットオフ周波数 f_{lc} が100kHz以下となるように、式(2)の抵抗 R_2 、コンデンサ C_2 の値が決定される。

【0038】また、例えばスキヤナの走査範囲が100 μ m、高速駆動側周波数 f_x が3kHz、光学的解像度が0.5 μ mの場合、式(4)より、低域通過カットオフ周波数 f_{lc} が600kHz以下となるように、式(2)の抵抗 R_2 、コンデンサ C_2 の値が決定される。

【0039】上述のLPF508により、例えばスキヤナ的高速駆動側の駆動周波数の高調波による高周波成分のノイズを除去することができる。

【0040】なお、図2において、LPF508は抵抗 R_2 、コンデンサ C_2 のみで構成されているが、図11のように、抵抗 R とコイル L で構成しても良い。ただし、この時の低域通過カットオフ周波数 f_{lc} は、以下のようになる。

$$f_{lc} = R / 2\pi L \quad (6)$$

また、図3におけるLPF508を、図12のように2次、あるいは図示しないがそれ以上の多段のフィルタとしても良い。もちろん、図11の構成を2次、あるいは

設定しても良い。

【0034】次に、HPF507から出力される信号は、LPF508に入力される。LPF508は、図2に示すように、抵抗 R_2 、コンデンサ C_2 により構成され、HPF507からの電気信号のうち、図10に示すように、低域通過カットオフ周波数 f_{lc} よりも高い周波数成分を減衰させる周波数特性となっている。なお、低域通過カットオフ周波数 f_{lc} は、以下で算出される。

【0035】

$$f_{lc} = 1 / (2\pi R_2 C_2) \quad (3)$$

一方、プローブ1内のスキヤナ的高速駆動側の走査範囲を X 、プローブ1が有する光学的解像度を r とすると、画像化装置4でA/D変換して画像化する際、スキヤナ的高速駆動側が1往復する間に必要な表示画素数は、少なくとも $2X/r$ となる。なお、ここで2倍しているのはスキヤナ的高速駆動側周波数 f_x の1周期の間に走査される距離は、走査範囲 X を往復するので2倍となるためである。よって、画像化装置4でのA/D変換のサンプリング周波数 f_{spl} は、スキヤナ的高速駆動側が1往復する間に必要が表示画素数に、スキヤナ的高速駆動側周波数 f_x を乗算すれば良いので、以下ようになる。

【0036】

下ようになる。

【0037】

それ以上の多段としても良い。もちろん、図示しないが抵抗とコンデンサ、抵抗とコイルとの多段のフィルタとしても良い。

【0042】また、抵抗、コンデンサ、コイル等の受動素子によりフィルタを構成する代わりに、図13のように、オペアンプなどの能動素子を使ったアクティブフィルタとしても良い。もちろん、抵抗とコンデンサの代わりに、図示しないが抵抗とコイルとしても良い。

【0043】また、図13に加えて、抵抗とコンデンサを図14のように2次、あるいは図示しないがそれ以上の多段のフィルタとしても良い。もちろん、抵抗とコンデンサの代わりに、図示しないが抵抗とコイルとしても良い。

【0044】さらに、図13と図14を組合せて、図15のように複数のオペアンプによる多次（図15の場合は5次）のアクティブフィルタとしても良い。もちろん、図示しないが図2、11、12、13、14、15の組み合わせによって考えられるフィルタ、あるいはその他の素子を含んだ構成で同様の機能を有するフィルタであれば何でも良い。

【0045】また、図2、11、12、13、14、15あるいはそれらの組み合わせによって構成されるフ

ルタにおいて、抵抗、コンデンサ、コイル等の値を適切に設定して、必要に応じて利得を1あるいは1以外のように設定しても良い。

【0046】次に、プローブ1の先端部200について図16ないし図19を参照して説明する。

【0047】プローブ1の外形状は、図16に示すように、円柱状に構成されている。プローブ1の外側は、チューブ224と、その内部に納められたコイルパイプ225によって構成されている。また、コイルパイプ225の内部には、光ファイバ217と、電気ケーブル218とが通っている。先端部には、コイルパイプ止め226があり、コイルパイプ225の先端部が接着されている。また、コイルパイプ止め226の内側は、図の網掛け部のように絶縁物質244で満たされている。また、コイルパイプ止め226にはガイドパイプ227が接着されており、チューブ224は、図のように糸巻き接着228によって、これらに固定されている。

【0048】スキャニングミラー232の構造、製作方法は後述する。スキャニングミラー232は、図のようにカバーガラス240、レンズ237を介して図の位置に配置されており、配線233、基板234、フレキシブル基板235、電気ケーブル218および信号線1aを介して、制御装置2内の制御回路9と電気的に接続されている。なお、電気ケーブル218からフレキシブル基板255へ延びる導電性の電線は、図のように絶縁チューブ236で覆われている。

【0049】また、スキャニングミラー232は、ミラーガラス台231、間隔管230、光ファイバ217の先端部を固定的に保持するフェール229に固定されている。ただし、スキャニングミラー232と、光ファイバ217と一体的に研磨されテーパ形状をなすフェール229の先端は、接触せず、わずかに隙間があいている。

【0050】また、レンズ237はレンズ枠238に接着固定されており、間隔管239を介してミラー台231に固定されている。さらに、レンズ枠238はガイドパイプ227にも固定されている。さらに、レンズ枠238はガイドパイプ227にも固定されている。間隔管239は、図16(b)に示すように、断面線A-Aに示す断面構造となっている。

【0051】また、レンズ237は、中心部付近にミラー蒸着部245が設けられている。

【0052】先端カバー241は、間隔管242を介してレンズ枠238に固定されており、さらに先端カバー241は、ガイドパイプ227にも接着固定されている。先端カバー241には、カバーガラス240が固定されている。さらに、電気ケーブル218には、信号線1aを介して制御装置2のGNDに接続されているGND線があり、このGND線と、プローブ1の先端部を構成する導電性のコイルパイプ225、コイルパイプ止め

226、フレキシブル基板235、基板234、間隔管230、間隔管239、レンズ枠238、先端カバー241、および間隔管242が、各々の接触部分で溶接されており、これらすべてが電気的に導通している。また、チューブ224と先端カバー241との隙間は、接着剤243が充填されている。

【0053】スキャニングミラー232は、図17に示すように、シリコン基板250にエッチングを行い、凹部251を形成させている。また、裏面からもエッチングされて、凹部248、貫通穴247を形成している。プレート252はシリコン基板上に接着され、基板上の酸化物層によってシリコン基板250と絶縁されている。さらに適切にマスクした後プレート252の上面に窒化膜253を設け、これをミラー部249に必要な部分を残してエッチングする。このときのミラー部249を上面から見た図を図18に示す。図の網掛け部は窒化膜を設けなかった部分である。

【0054】さらに、図19に示すように、その上に導電層を形成し、電極254a、254b、254c、254dと、ミラー部249と、配線253a、253b、253c、253dとを製作する。この電極254a、254bはミラーの役割も兼ねる。ここで適切にエッチングを行うことにより、窒化膜に覆われていない部分を取り除く。このとき、ヒンジ部256、257の両側からアンダーエッチされることにより、窒化膜部分のみが残り、図19に示すように、この部分を軸にして中心部255が回転できるようになる。上記電極254a、254bに互いに位相が反転する正弦波を印加することで、くぼみ部248に形成されるGND部とでキャパシタを形成し、ミラー部249がX方向に静電気力で共振駆動する。また、中心部255の中心には中心穴246が設けられている。また、電極253a、253b、253c、253dは、前述した電気ケーブル218、信号線1aを介して制御装置2のコネクタ11に接続されている。

【0055】次に、共焦点光走査プローブ装置の光学系の動作を説明する。LD15からのレーザ光は、端部8b、ファイバカプラ8、端部8a、コネクタ17、光ファイバ1c、コネクタ11、光ファイバ1bを介して光ファイバ217のコアに供給される。この光ファイバ217のコアからの光は、シリコンミラー250の貫通穴247、ミラー部249の中心穴246を通過して、レンズ237へ向かう。この光は、レンズ237表面のミラー蒸着部245によって反射され、広がりながらスキャニングミラー232のミラー部249へ向かい、これにより反射される。続いて、この光は、レンズ237で集光され、カバーガラス240を通過して焦点を結ぶ。この焦点からの反射光は入射光と同じ光路を逆方向に通り、再び、光ファイバ217のコアで焦点を結び、これに入射される。このとき、焦点259以外からの反射光

は、入射光と同じ光路を通ることができず、光ファイバ217のコアにほとんど入射できない。つまり、このコアが小さいピンホールの働きをし、共焦点顕微鏡と同等の解像度を持つようになる。

【0056】次に、プローブ1において発生するノイズについて説明する。

【0057】光ファイバ217の出射端部の散乱光や、レンズ237表面のミラー蒸着部245の光ファイバ217の出射端部への直接反射光は、スキャニングミラー232により走査される観察対象の画像情報とは異なり、ほぼ直流成分のノイズとして、PMTユニット16まで伝達されて光電変換されることになる。

【0058】そこで、上述のフィルタ装置501のHPF507によって高周波帯域成分の信号のみを通過させ、直流成分を除去し、図4(b)に示すように交流信号へと変換する。これにより、ほぼ直流成分のノイズを除去することができる。またLPF508によって、低周波帯域成分の信号のみを通過させ、スキャナの駆動の影響により発生する高調波などの高周波成分のノイズを除去できる。

【0059】なお、本実施の形態では、光学ユニットとフィルタ装置が別々に構成されているが、これらを統合して一体化した構成としても良い。また、画像化装置も合わせて一体的に構成しても良い。また、フィルタ装置、画像化装置、および光学ユニットのうちの少なくとも2つを一体化した構成にしても良い。

【0060】このように本実施の形態では、フィルタ装置により、プローブ内のファイバ端部の散乱光や、レンズ表面のミラー蒸着部の直接反射光による直流成分ノイズが除去されるので、ノイズが少なく、S/Nの良い、鮮明な観察画像が得られる。

【0061】特に、本実施の形態におけるスキャナは、高速駆動側の共振周波数が3kHz程度と比較的高く、単位時間当たりの画像数を多く取得することができる。すなわち、低速駆動側の周波数も高く、高域通過フィルタ回路のカットオフ周波数を高く設定することができ、構成される回路素子の選定が容易となり、安価で構成できる。

【0062】図20及び図21は本発明の第2の実施の形態に係わり、図20は共焦点光走査プローブ装置のプローブの先端部の構成例を説明するために示す断面図、図21は図20のプローブの先端部の構成例を説明するための要部斜視図である。

【0063】第2の実施の形態は、第1の実施の形態とほとんど同じであるので、異なる点のみ説明し、同一の構成には同じ符号をつけ説明は省略する。

【0064】プローブ1Aの先端部300は、光走査手段としての走査ユニット305と、先端カバーユニット306と、光学枠307とを備えている。光学枠307はプローブ1Aのアウトチューブ308の先端部に固

定されている。

【0065】走査ユニット305は、光学枠307に固定されたベース309を有している。ベース309は、容易に動かないように、後述するレンズ枠314や合焦手段としての対物レンズ315よりも重量が重く設定されている。

【0066】ベース309には光ファイバ302の先端部が固定されている。

【0067】ベース309の両側には、薄板310が接着されている。薄板310には、厚み後方に分極された圧電素子304が接着されている。圧電素子304には、圧電素子304を駆動するための電気ケーブル303が接続されている。この電気ケーブル303は、プローブ1Aの先端部300の内部を通つて、図1の信号線1aと接続され、コネクタ11を介して制御装置2に接続されている。

【0068】薄板310の先端部は中間部材311に固定されている。中間部材311には2枚の平行な薄板312a、312bが固定されている。薄板312a、312bには圧電素子313a、313bが接着されている。

【0069】薄板312a、312bの先端にはレンズ枠314が固定され、このレンズ枠314には対物レンズ315と光ファイバ302の先端部を固定的に保持するフェルール316が固定されている。なお、光ファイバ302は、フェルール316に固定された後、プローブ1Aの先端部300がフェルール316と一体的に研磨され、さらに反射防止膜が設けられる。また、圧電素子313a、313bは、電気ケーブル303を介して図1の信号線1aに接続され、コネクタ11を介して制御回路15と接続されている。

【0070】また、小型の変位センサ350がレンズ枠314に接着固定されており、電気ケーブル303、信号線1aを介して、制御装置2と電氣的に接続されている。変位センサ350は、スキャナのX方向の位置を、モニタ5における表示画像の左端を基準とし、最も遠い位置、すなわち表示画像の右端における位置のときに最大となるような電圧を出力して、制御装置2内の制御回路15へ伝送する。

【0071】先端カバーユニット306は、カバーホルダ317と、カバーホルダ317に固定されたカバーガラス318とからなり、カバーホルダ317は光学枠307の先端部に固定されている。

【0072】このような構造にしたことにより、プローブ1Aの先端部300は密閉される。

【0073】このようなプローブ1Aを使用した共焦点光走査プローブ装置の動作について図1、図20、図21を参照して説明する。

【0074】LD15からのレーザ光は、端部8b、4端子カブラ8、端部8a、コネクタ17、光ファイバ1

c、コネクタ 11、光ファイバ 1b を介してプローブ 1A の先端部 300 に伝送され、プローブ 1A の先端部 300 の先端面から対物レンズ 315 に向けて出射される。

【0075】この場合、光ファイバ 302 の先端部はフェルール 316 に固定されて一体的に研磨されているとともに、研磨された端面に反射防止膜が設けられているため、光ファイバ 302 の端面での反射光はきわめて小さく抑えられる。

【0076】電気ケーブル 303 には信号線 1a を介して制御装置 2 のグランドと接続したグランド線があり、そのグランド線と、プローブ 1A の先端部 300 内の導電部である光学枠 307、ベース 309、およびカバーホルダ 317 が、各々の接触部分で溶接されており、これらすべてが電氣的に導通している。

【0077】光ファイバ 302 の端面のコア 321 から発せられた光は、対物レンズ 315 で集光され、カバーガラス 318 を透過して、観察対象物 322 の内部で焦点 323 を結ぶ。

【0078】この焦点 323 以外からの反射光は、入射光と同じ光路を逆方向に通り、再び光ファイバ 302 のコア 321 にほとんど入射できない。このコア 321 が小さいピンホールの働きをなし、共焦点顕微鏡と同等の解像度を持つようになる。この状態で制御装置 2 内の制御回路 9 を動作させると制御回路 9 からの駆動信号は、信号線 9b、コネクタ 11、信号線 1a、電気ケーブル 303 を介して、圧電素子 304、圧電素子 313a、313b に伝送される。これにより、圧電素子 304 と、圧電素子 313a、313b は、電圧に応じて伸縮する。すると、圧電素子 304 は薄板 310 に、圧電素子 313a、313b は薄板 312a、312b にそれぞれ張られているために、薄板 310 と、薄板 312a、312b を曲げるように動作する。

【0079】具体的には、圧電素子 313a、313b に位相が互いに反転した正弦波を加えると、レンズ枠 314 が振動する。これによって、対物レンズ 315、光ファイバ 302 の先端部とが移動して、レーザ光の焦点 323 の位置が X 方向（図 20 参照）にスキャンされる。この場合、このスキャナ系の共振周波数で駆動すると、大きな変位が得られる。

【0080】一方、制御回路 9 によつて圧電素子 304 を伸縮させると、レーザ光の焦点 323 の位置が X 方向と垂直な Y 方向にスキャンされる。この場合、Y 方向の振動の周波数を X 方向のスキャン周波数よりも十分に遅くすることによって、焦点 323 はラスタ走査される。これに伴って、走査面 324 の各点の反射光が光ファイバ 302 によって伝送されることになる。

【0081】このようなプローブ 1A を上記第 1 の実施の形態に代えて使用することにより、共焦点光走査プローブ装置を得ることができる。

【0082】次に、プローブ 1A において発生するノイズについて説明する。

【0083】プローブ 1A では、上記第 1 の実施の形態で説明したプローブ 1 のミラー蒸着部 245 のように、固定反射物が存在しないものの、光ファイバ 302 の出射端部での散乱光が、再び光ファイバ 302 へと戻ることによる、ほぼ直流成分のノイズが発生し、PMT ユニット 16 まで伝達されて光電変換される。

【0084】そこで、上述のフィルタ装置 501 の HPF 507 によって高周波帯域成分の信号のみを通過させ、直流成分を除去し、図 4 (b) に示すように交流信号へと変換する。これにより、ほぼ直流成分のノイズを除去することができる。また LPF 508 によって、低周波帯域成分の信号のみを通過させ、スキャナの駆動の影響により発生する高調波などの高周波成分のノイズを除去できる。

【0085】このように本実施の形態では、フィルタ装置により、プローブ内のファイバ端部の散乱光による直流成分ノイズが除去されるので、ノイズが少なく、S/N の良い、鮮明な観察画像が得られる。

【0086】特に、本実施の形態におけるスキャナは、高速駆動側の共振周波数が 500 Hz 程度と低いので、低域通過フィルタ回路のカットオフ周波数を低く設定することができ、構成される回路素子の選定が容易となり、安価で構成できる。

【0087】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、ノイズが少なく、S/N の良い、鮮明な観察画像を得ることができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 の実施の形態に係る共焦点光走査プローブ装置の構成を示すブロック図

【図 2】図 1 のフィルタ装置の構成を示す構成図

【図 3】図 2 の HPF の周波数特性を示す図

【図 4】図 2 の HPF の作用を説明する図

【図 5】図 2 の HPF の第 1 の変形例の構成を示す図

【図 6】図 2 の HPF の第 2 の変形例の構成を示す図

【図 7】図 2 の HPF の第 3 の変形例の構成を示す図

【図 8】図 2 の HPF の第 4 の変形例の構成を示す図

【図 9】図 2 の HPF の第 5 の変形例の構成を示す図

【図 10】図 2 の LPF の周波数特性を示す図

【図 11】図 2 の LPF の第 1 の変形例の構成を示す図

【図 12】図 2 の LPF の第 2 の変形例の構成を示す図

【図 13】図 2 の LPF の第 3 の変形例の構成を示す図

【図 14】図 2 の LPF の第 4 の変形例の構成を示す図

【図 15】図 2 の LPF の第 5 の変形例の構成を示す図

【図 16】図 1 のプローブの先端部を示す断面図

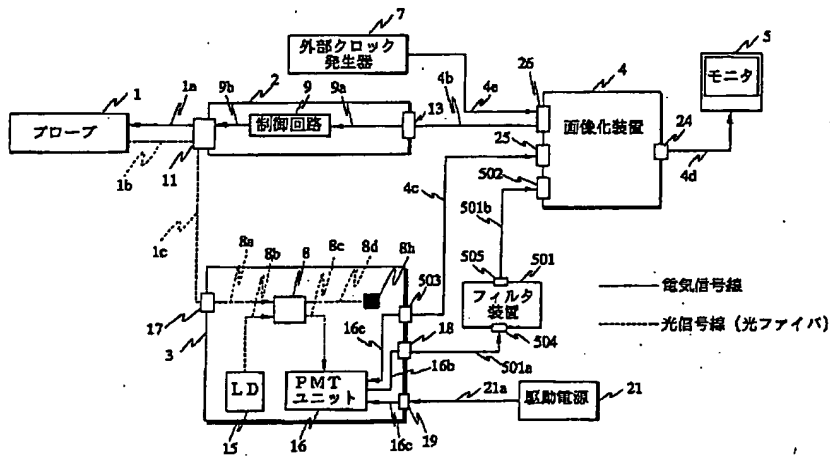
【図 17】図 16 のプローブのスキャナの構造を示す断面図

【図 18】図 17 のスキャナの構造を示す平面図

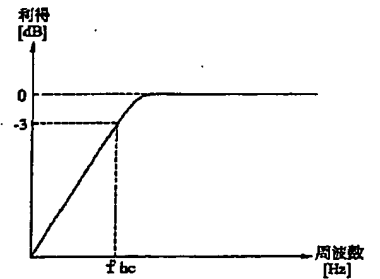
【図19】図17のスキマの詳細構造を示す平面図
 【図20】本発明の第2の実施の形態に係る共焦点光走査プローブ装置のプローブの先端部の構成例を説明するために示す断面図
 【図21】図20のプローブの先端部の構成例を説明するための要部斜視図
 【符号の説明】
 1, 1A…プローブ
 2…制御装置
 3…光学ユニット
 4…画像化装置
 5…モニタ

7…外部クロック発生器
 8…4端子カプラ
 9…制御回路
 11, 13, 17, 18, 19, 24, 25, 26…コネクタ
 15…LD
 16…PMTユニット
 501…フィルタ装置
 502, 503, 504, 505…コネクタ
 10 506…フィルタ回路
 507…HPF
 508…LPF

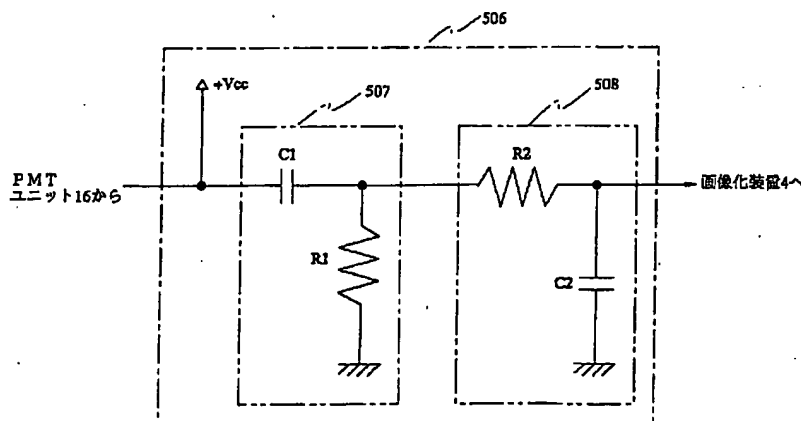
【図1】



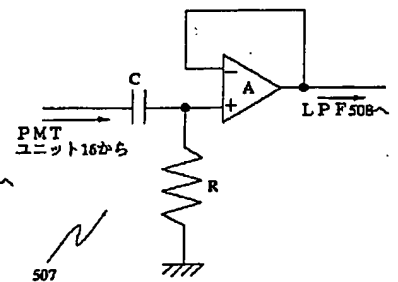
【図3】



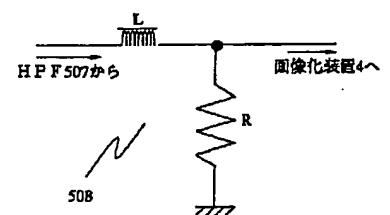
【図2】



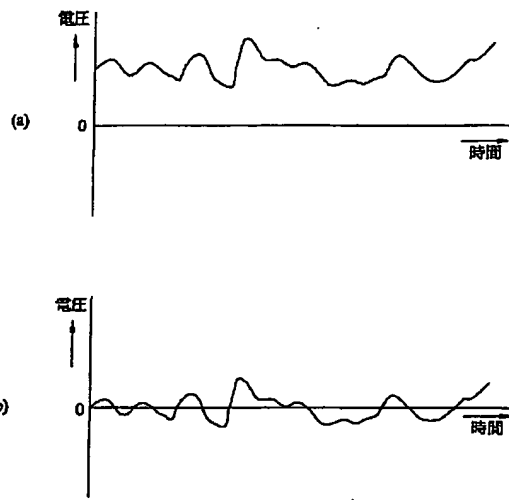
【図7】



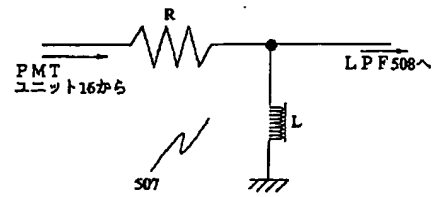
【図11】



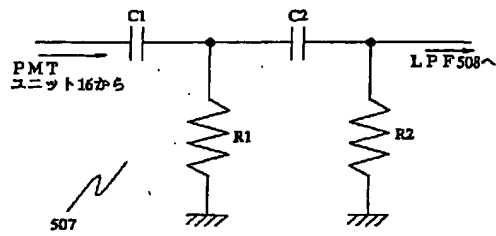
【図4】



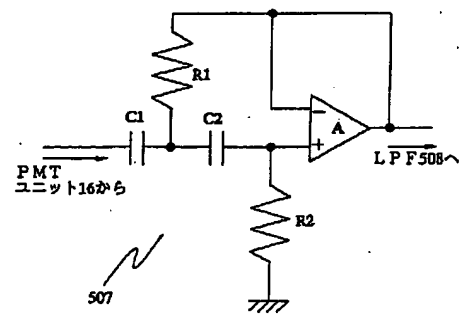
【図5】



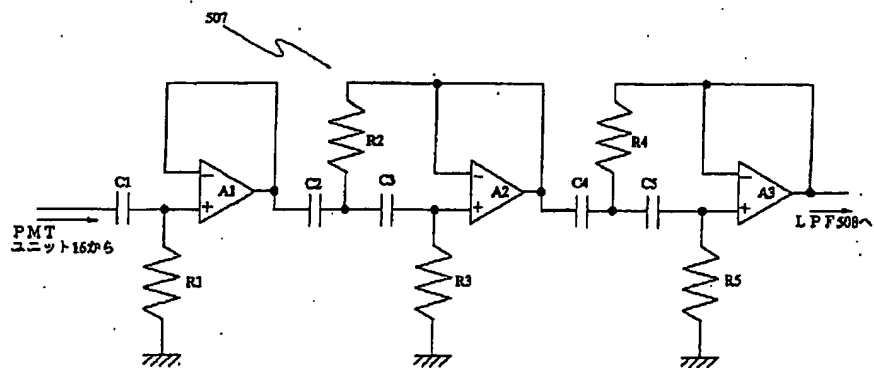
【図6】



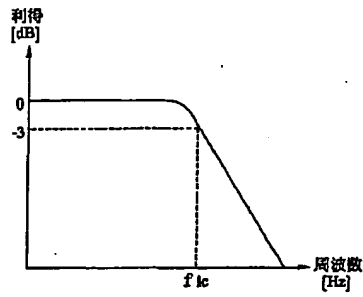
【図8】



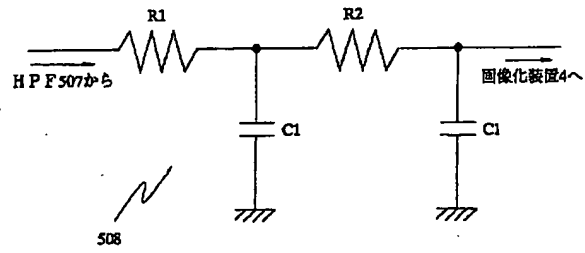
【図9】



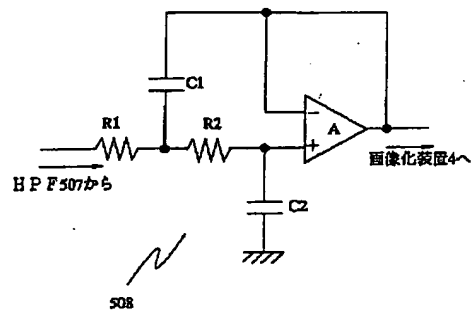
【図10】



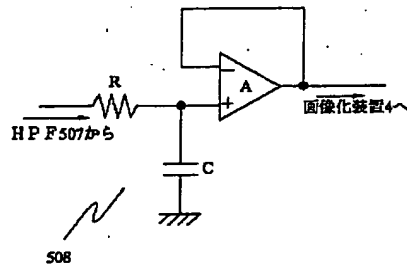
【図12】



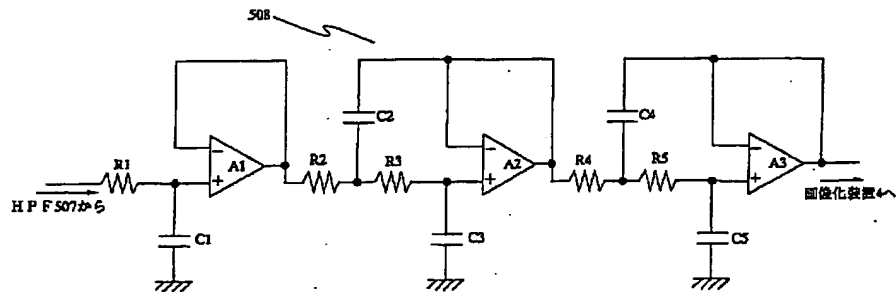
【図14】



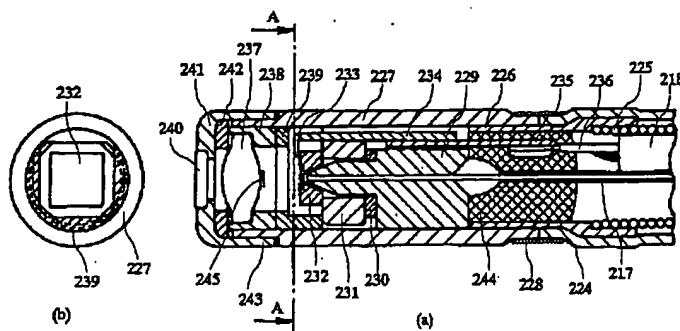
【図13】



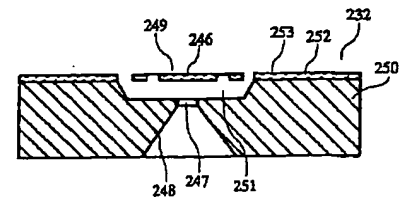
【図15】



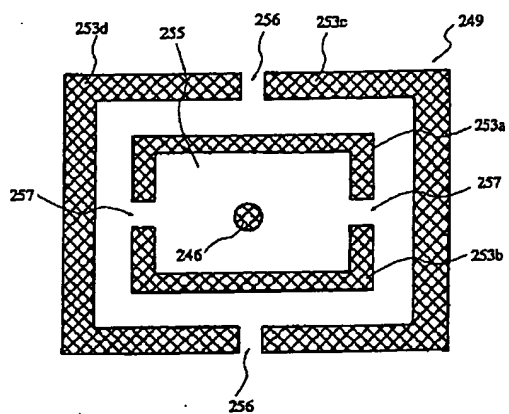
【図16】



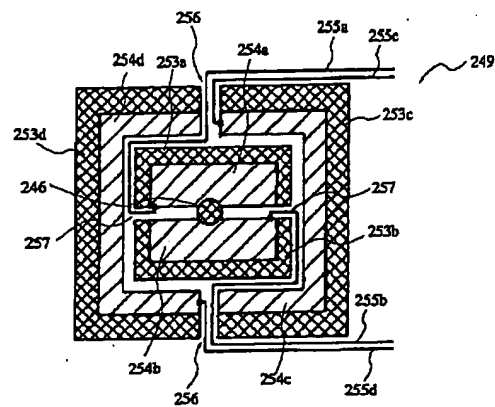
【図17】



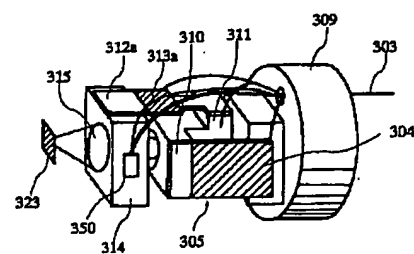
【图 18】



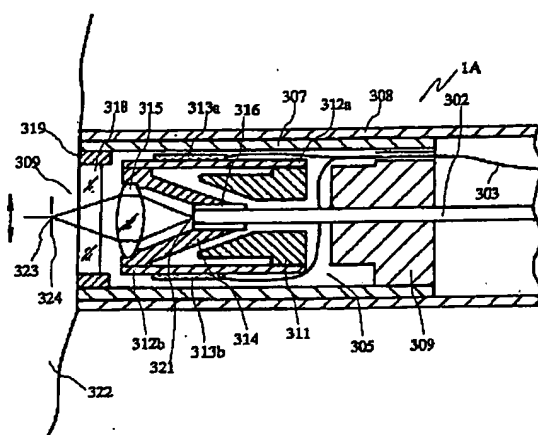
【图 19】



【图 2 1】



【図 20】



Date: February 12, 2004

Declaration

I, Michihiko Matsuba, President of Fukuyama Sangyo Honyaku Center, Ltd., of 16-3, 2-chome, Nogami-cho, Fukuyama, Japan, do solemnly and sincerely declare that I understand well both the Japanese and English languages and that the attached document in English is a full and faithful translation, of the copy of Japanese Unexamined Patent No. 2002-277743 laid open on September 25, 2002.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'm. matsuba', with a long horizontal stroke extending to the right.

Michihiko Matsuba

Fukuyama Sangyo Honyaku Center, Ltd.

CONFOCAL LIGHT SCANNING PROBE APPARATUS

Japanese Unexamined Patent No. 2002-277743

Laid-open on: September 25, 2002

Application No. 2001-76696

Filed on: March 16, 2001

Inventor: Atsushi OKAWA

Applicant: Olympus Optical Co., Ltd.

Patent attorney: Susumu ITO

SPECIFICATION

[TITLE OF THE INVENTION] Confocal Light Scanning Probe Apparatus

[ABSTRACT]

[Theme] To provide a sharp observed image having less noise and good S/N.

[Solving means] The confocal light scanning probe apparatus 1 includes: the probe 1 having a scanner; the control apparatus 2 for driving the scan; the optical unit 3 for supplying light to the probe 1 to detect an optical image from the probe 1 to provide an electric signal; the filter apparatus 501 for passing through only a particular frequency component of a signal from the optical unit 3; an imaging apparatus 4 for

imaging an electric signal from the filter apparatus 501; the monitor 5 for displaying a video from the imaging apparatus 4; and the external clock generator 7 for generating a clock that is a reference of a driving waveform for driving the scanner.

[WHAT IS CLAIMED IS;]

[Claim 1] A confocal light scanning probe apparatus, comprising: a probe having a scanner driven in one direction while being driven in the other direction; a control apparatus for driving the scanner; a light source for emitting light to a to-be-examined section; an optical fiber for guiding the light from the light source to the probe tip end; a focusing means for focusing the light from the optical fiber to the to-be-examined section to collect the light from the to-be-examined section on the end face of the optical fiber; a separation means for separating at least a part of the returning light from the to-be-examined section from the light path of the light from the light source; a detector for detecting the separated light; an imaging apparatus for subjecting the signal from the detector to A/D conversion to image the signal; and a monitor for displaying an image, wherein the confocal light scanning probe apparatus comprises a filter apparatus for removing, from the signal from the

detector, at least a substantial direct current signal component.

[Claim 2] A confocal light scanning probe apparatus according to Claim 1, wherein the scanner is a two dimensional scanner that is driven in one direction with high-speed driving and that is driven in a direction orthogonal thereto with a low speed.

[Claim 3] A confocal light scanning probe apparatus according to Claim 1, wherein the filter apparatus has a high-pass filter circuit for passing therethrough only a high frequency component of the electric signal from the detector.

[Claim 4] A confocal light scanning probe apparatus according to Claim 3, wherein the high-pass filter circuit has a high-pass cutoff frequency that is at least equal to or lower than a low speed side driving frequency of the scanner.


[Claim 5] A confocal light scanning probe apparatus according to Claim 1, wherein the filter apparatus has a low-pass filter circuit for passing therethrough only a low frequency component of the electric signal from the detector.

[Claim 6] A confocal light scanning probe apparatus according to Claim 5, wherein the low-pass filter circuit has a low-pass cutoff frequency that at least satisfies the formula shown below.

Date: February 12, 2004

Declaration

I, Michihiko Matsuba, President of Fukuyama Sangyo Honyaku Center, Ltd., of 16-3, 2-chome, Nogami-cho, Fukuyama, Japan, do solemnly and sincerely declare that I understand well both the Japanese and English languages and that the attached document in English is a full and faithful translation, of the copy of Japanese Unexamined Patent No. 2002-277743 laid open on September 25, 2002.



Michihiko Matsuba

Fukuyama Sangyo Honyaku Center, Ltd.

CONFOCAL LIGHT SCANNING PROBE APPARATUS

Japanese Unexamined Patent No. 2002-277743

Laid-open on: September 25, 2002

Application No. 2001-76696

Filed on: March 16, 2001

Inventor: Atsushi OKAWA

Applicant: Olympus Optical Co., Ltd.

Patent attorney: Susumu ITO

SPECIFICATION

[TITLE OF THE INVENTION] Confocal Light Scanning Probe Apparatus

[ABSTRACT]

[Theme] To provide a sharp observed image having less noise and good S/N.

[Solving means] The confocal light scanning probe apparatus 1 includes: the probe 1 having a scanner; the control apparatus 2 for driving the scan; the optical unit 3 for supplying light to the probe 1 to detect an optical image from the probe 1 to provide an electric signal; the filter apparatus 501 for passing through only a particular frequency component of a signal from the optical unit 3; an imaging apparatus 4 for

imaging an electric signal from the filter apparatus 501; the monitor 5 for displaying a video from the imaging apparatus 4; and the external clock generator 7 for generating a clock that is a reference of a driving waveform for driving the scanner.

[WHAT IS CLAIMED IS;]

[Claim 1] A confocal light scanning probe apparatus, comprising: a probe having a scanner driven in one direction while being driven in the other direction; a control apparatus for driving the scanner; a light source for emitting light to a to-be-examined section; an optical fiber for guiding the light from the light source to the probe tip end; a focusing means for focusing the light from the optical fiber to the to-be-examined section to collect the light from the to-be-examined section on the end face of the optical fiber; a separation means for separating at least a part of the returning light from the to-be-examined section from the light path of the light from the light source; a detector for detecting the separated light; an imaging apparatus for subjecting the signal from the detector to A/D conversion to image the signal; and a monitor for displaying an image, wherein the confocal light scanning probe apparatus comprises a filter apparatus for removing, from the signal from the

detector, at least a substantial direct current signal component.

[Claim 2] A confocal light scanning probe apparatus according to Claim 1, wherein the scanner is a two dimensional scanner that is driven in one direction with high-speed driving and that is driven in a direction orthogonal thereto with a low speed.

[Claim 3] A confocal light scanning probe apparatus according to Claim 1, wherein the filter apparatus has a high-pass filter circuit for passing therethrough only a high frequency component of the electric signal from the detector.

[Claim 4] A confocal light scanning probe apparatus according to Claim 3, wherein the high-pass filter circuit has a high-pass cutoff frequency that is at least equal to or lower than a low speed side driving frequency of the scanner.

[Claim 5] A confocal light scanning probe apparatus according to Claim 1, wherein the filter apparatus has a low-pass filter circuit for passing therethrough only a low frequency component of the electric signal from the detector.

[Claim 6] A confocal light scanning probe apparatus according to Claim 5, wherein the low-pass filter circuit has a low-pass cutoff frequency that at least satisfies the formula shown below.

$$flc \leq (X \times fx)/r$$

wherein:

flc: low-pass cutoff frequency,

X: scanning range at the high-speed driving side of the scanner,

fx: frequency at the high-speed driving side of the scanner,

and

r: optical resolution of the probe.

[Claim 7] A confocal light scanning probe apparatus according to Claim 1, wherein the scanner has a two dimensional scanning micro machine mirror provided by a semiconductor process.

[Claim 8] A confocal light scanning probe apparatus according to Claim 1, wherein the scanner uses at least two or more piezoelectric elements to scan the lens and the fiber end section of the probe tip end section in a two dimensional and integral manner.

[Claim 9] A confocal light scanning probe apparatus according to Claim 3, wherein the high-pass filter circuit is structured by the combination of a resistance element and a capacitor.

[Claim 10] A confocal light scanning probe apparatus according to Claim 3, wherein the high-pass filter circuit is structured by the combination of a resistance element and a coil.

[Claim 11] A confocal light scanning probe apparatus according to Claim 3, wherein the high-pass filter circuit is structured

by the combination of a resistance element, a capacitor, and a semiconductor amplification element.

[Claim 12] A confocal light scanning probe apparatus according to Claim 3, wherein the high-pass filter circuit is structured by the combination of a resistance element, a coil, and a semiconductor amplification element.

[Claim 13] A confocal light scanning probe apparatus according to Claim 3, wherein the high-pass filter circuit is structured by the combination of a resistance element, a capacitor, a coil, and a semiconductor amplification element.

[Claim 14] A confocal light scanning probe apparatus according to Claim 5, wherein the low-pass filter circuit is structured by the combination of a resistance element and a capacitor.

[Claim 15] A confocal light scanning probe apparatus according to Claim 5, wherein the low-pass filter circuit is structured by the combination of a resistance element and a coil.

[Claim 16] A confocal light scanning probe apparatus according to Claim 5, wherein the low-pass filter circuit is structured by the combination of a resistance element, a capacitor, and a semiconductor amplification element.

[Claim 17] A confocal light scanning probe apparatus according to Claim 5, wherein the low-pass filter circuit is structured by the combination of a resistance element, a coil, and a

semiconductor amplification element.

[Claim 18] A confocal light scanning probe apparatus according to Claim 5, wherein the low-pass filter circuit is structured by the combination of a resistance element, a capacitor, a coil, and a semiconductor amplification element.

[Claim 19] A confocal light scanning probe apparatus according to Claim 1, wherein the filter apparatus is provided at any position between the detector and the imaging apparatus, a position in the detector, a position in the imaging apparatus, or a position in an apparatus provided by integrating the detector with the imaging apparatus.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] The present invention relates to a confocal light scanning probe apparatus. More particularly, the present invention relates to a confocal light scanning probe apparatus characterized by a noise removal part of an electric signal of an optical image.

[0002]

[Prior Arts] Japanese Unexamined Patent Publication No. Hei-9-230248 discloses a conventional technique of a micro machined small confocal microscope. Japanese Unexamined Patent Publication No. Hei-3-87804 also discloses a small

confocal microscope system mounted in an endoscope head. Japanese Unexamined Patent Publication No. 2000-171718 also discloses a confocal light scanning apparatus that subjects a detected signal to imaging by A/D conversion so that the pixel calculation is carried out to provide an outline highlight or the like.

[0003]

[Problems to be Solved by the Invention] When a conventional technique is used to observe the cell or the like of a living organism, reflected light and/or scattered light from a constituent fixed reflecting mirror and/or fiber end face is added as direct current component noise of the light signal to the observed signal. This may cause the originally required observed signal to be buried in the direct current component noise, wherein there is a possibility that the signal cannot be observed.

[0004] The conventional technique also requires a light signal detected by a detector to be converted to an electric signal that needs to be subjected to A/D conversion when being imaged by an imaging apparatus. Thus, it is common that a low-pass filter is used to remove a high frequency component from the electric signal from the detector. However, when this low-pass filter has a cutoff frequency close to the sampling

frequency for A/D conversion, then a high frequency noise such as high frequency noise of a driving frequency of a scanner may be mixed into an image to cause the image quality to be deteriorated.

[0005] When the light signal detected by the detector is converted to an electric signal and the converted signal is imaged by an imaging apparatus as in the conventional technique, A/D conversion is required. Thus, it is common to use a low-pass filter beforehand to remove a high frequency component from an electric signal from the detector. However, when this low-pass filter has a cutoff frequency close to a sampling frequency for A/D conversion according to the sampling theorem, a higher harmonic component of a driving frequency of a scanner may be mixed into an image to cause noise.

[0006] The present invention was made in view of the above. The object of the present invention is to provide a confocal light scanning probe apparatus that has reduced noise, that has good S/N, and that can provide a sharp image to be observed.

[0007]

[Means for Solving the Problems] The confocal light scanning probe apparatus of the present invention is structured to include: a probe having a scanner driven in one direction while being driven in the other direction; a control apparatus for

driving the scanner; a light source for emitting light to a to-be-examined section; an optical fiber for guiding the light from the light source to the probe tip end; a focusing means for focusing the light from the optical fiber to the to-be-examined section to collect the light from the to-be-examined section on the end face of the optical fiber; a separation means for separating at least a part of the returning light from the to-be-examined section from the light path of the light from the light source; a detector for detecting the separated light; an imaging apparatus for subjecting the signal from the detector to A/D conversion to image the signal; and a monitor for displaying an image, wherein the confocal light scanning probe apparatus has a filter apparatus for removing, from the signal from the detector, at least a substantial direct current signal component.

[0008]

[Preferred Embodiment] Hereinafter, embodiments of the present invention will be described with reference to the drawings.

[0009] Fig. 1 to Fig. 19 relate to the first embodiment of the present invention. Fig. 1 is a block diagram illustrating the structure of a confocal light scanning probe apparatus. Fig. 2 shows the structure of the filter apparatus of Fig. 1. Fig.

3 shows the frequency characteristic of HPF of Fig. 2. Fig. 4 explains the operation of HPF of Fig. 2. Fig. 5 shows the structure of the first modification example of HPF of Fig. 2. Fig. 6 shows the structure of the second modification example of HPF of Fig. 2. Fig. 7 shows the structure of the third modification example of HPF of Fig. 2. Fig. 8 shows the structure of the fourth modification example of HPF of Fig. 2. Fig. 9 shows the structure of the fifth modification example of HPF of Fig. 2. Fig. 10 shows the frequency characteristic of LPF of Fig. 2. Fig. 11 shows the structure of the first modification example of LPF of Fig. 2. Fig. 12 shows the structure of the second modification example of LPF of Fig. 2. Fig. 13 shows the structure of the third modification example of LPF of Fig. 2. Fig. 14 shows the structure of the fourth modification example of LPF of Fig. 2. Fig. 15 shows the structure of the fifth modification example of LPF of Fig. 2. Fig. 16 is a cross-sectional view illustrating the tip end section of the probe of Fig. 1. Fig. 17 is a cross-sectional view illustrating the structure of the probe of Fig. 16. Fig. 18 is a plain view illustrating the structure of the scanner of Fig. 17. Fig. 19 is a plain view illustrating the detailed structure of the scanner of Fig. 17.

[0010] As shown in Fig. 1, the confocal light scanning probe

apparatus 1 of the present embodiment includes: the probe 1 having a scanner; the control apparatus 2 for driving the scan; the optical unit 3 for supplying light to the probe 1 to detect an optical image from the probe 1 to provide an electric signal; the filter apparatus 501 for passing through only a particular frequency component of a signal from the optical unit 3; an imaging apparatus 4 for imaging an electric signal from the filter apparatus 501; the monitor 5 for displaying a video from the imaging apparatus 4; and the external clock generator 7 for generating a clock that is a reference of a driving waveform for driving the scanner. These are connected and related as described below.

[0011] The probe 1 is connected via the signal line 1a with the control apparatus 2 electrically and detachably. The probe 1 is also connected by the optical fiber 1b via the connector 11 of the control apparatus 2 to the connector 17 of the optical unit 3 optically and detachably.

[0012] The optical unit 3 consists of: the laser diode (hereinafter referred to as LD) 15 as a light source; the photo-multiplier tube (hereinafter referred to as PMT) unit 16; and the 4-terminal coupler 8.

[0013] In the structure of the optical unit 3, the 4-terminal coupler 8 has four end sections 8a, 8b, 8c, and 8d. The end

section 8a is optically connected to the optical fiber 1c. The end section 8b is optically connected to the LD 15. The end section 8d is terminated by the optical fiber terminate 8h. The end section 8c is optically connected to the PMT unit 16. Light passing through the end sections 8a and 8d is respectively diverged and is transmitted to the end sections 8b and 8c. Conversely, light passing through the end section 8b and 8c is respectively diverged and is transmitted to the end sections 8a and 8d.

[0014] The laser light generated in the LD 15 is transmitted, via the end section 8b, the 4-terminal coupler 8, the end section 8a, the connector 11, the optical fiber 1c, the connector 11, and the optical fiber 1b, to the probe 1. Then, an object to be observed is subjected to the light scanning by the scanner (described later) in the probe 1 in a two dimensional manner (directions X and Y).

[0015] The object to be observed scanned by the scanner in the probe 1 reflects a light signal. The light signal is transmitted, via the optical fiber 1b, the connector 11, the optical fiber 1c, the connector 17, the end section 8a, the 4-terminal coupler 8, and the end section 8c, to the PMT unit 16. In the PMT unit 16, the light signal is photoelectrically converted to an electric signal. The electric signal having been

photoelectrically converted by the PMT unit 16 is transmitted, via the signal line 16b, the connector 18, the signal line 501a, and the connector 504, to the filter apparatus 501.

[0016] Furthermore, the PMT unit 16 is electrically connected with the driving power source 21 for driving it via the signal line 21a, the connector 19, and the signal line 16c.

[0017] In the control apparatus 2, the control circuit 9 is connected via the signal line 9a to the connector 13. The control circuit 9 is also electrically connected via the signal line 9b to the connector 11. This control circuit 9 acquires a scanner driving signal inputted from the connector 13 via the signal line 9a. Then, the control circuit 9 amplifies the signal to output via the signal line 9b to the connector 11.

[0018] The imaging apparatus 4 is an apparatus for generating an imaging signal and includes the connectors 24, 25, 26, and 502. The connector 24 is electrically connected with the monitor 5 via the signal line 4d.

[0019] The imaging apparatus 4 is also electrically connected via the connector 26, the signal line 4b, and the connector 13 to the control apparatus 2. The connector 26 of the imaging apparatus 4 is electrically connected, via the signal line 4e, the external clock generator 7 for generating a clock as a reference of a driving waveform for driving the scanner.

[0020] The imaging apparatus 4 is also electrically connected via the connector 25, the signal line 4c, and the connector 503 to the optical unit 3 so that the former and the latter can have mutual transmission. The signal line 16e is used to transmit from the imaging apparatus 4 a signal for controlling the sensitivity of the multi briar tube in the PMT unit 16.

[0021] Furthermore, the imaging apparatus 4 is electrically connected via the connector 502, the signal line 501b, and the connector 505 to the filter apparatus 501 so as to be inputted with a signal outputted from the filter apparatus 501.

[0022] The filter apparatus 501 is electrically connected via the PMT unit 16, the signal line 16b, the connector 18, the signal line 501a, and the connector 504 so that an electric signal photoelectrically converted by the multi briar tube in the PMT unit 16 is inputted to the filter apparatus 501. The filter apparatus 501 only passes through an electric signal of a particular frequency component to allow the electric signal to be outputted via the connector 505, the signal line 501b, and the connector 502 to the imaging apparatus 4.

[0023] The filter apparatus 501 has the filter circuit 506 as shown in Fig. 2. The filter circuit 506 consists of: the high frequency pass filter for passing through the frequency component of a high frequency bandwidth (hereinafter referred

to as HPF) 507 and the low frequency pass filter for passing the frequency component of a low frequency bandwidth (hereinafter referred to as LPF) 508.

[0024] An electric signal from the PMT unit 16 includes not only an image signal of an object to be observed obtained by the probe 1 but also a noise signal generated by an optical system such as scanner. In order to reduce this noise signal, signal processing as shown below is performed. A source of the noise signal will be described later.

[0025] First, an electric signal from the PMT unit 16 is inputted to the HPF 507. The HPF 507 is composed of the resistance R1 and the capacitor C1. The HPF 507 has a frequency characteristic in which, among the electric signals from the PMT unit 16, a signal having a frequency component lower than the high-pass cutoff frequency (frequency at which the gain of the electric signal is -3dB (about half)) f_{hc} is attenuated, as shown in Fig. 3. The high-pass cutoff frequency f_{hc} is calculated as shown below.

[0026]

$$f_{hc} = 1/(2\pi R_1 C_1) \quad (1)$$

For example, the values of the resistance R1 and the capacitor C1 are respectively determined so that the high-pass cutoff frequency f_{hc} is 4Hzh or less (for example, 1Hz) when the

scanner has a low speed side frequency of 4Hz and the high-pass cutoff frequency f_{hc} is 20Hz or less (for example, 10Hz) when the scanner has a low speed side frequency of 20Hz.

[0027] In particular, when the high-pass cutoff frequency f_{hc} is as close to zero (direct current) as possible, then the HPF 507 removes from the electric signal including a direct current component noise by an optical system composing the probe 1 (described later) (see Fig. 4(a)) a direct current component noise as shown in Fig. 4 and a signal of an alternate current component including a great amount of electric signals from the object to be observed is extracted (see Fig. 4(b)).

[0028] Although Fig. 2 shows the HPF 507 only composed of the resistance R_1 and the capacitor C_1 , the HPF 507 also may be composed of the resistance R and the coil L as shown in Fig. 5. In this case, the high-pass cutoff frequency f_{hc} is as shown below.

$$[0029] \quad f_{hc} = R/2\pi L \quad (2)$$

The HPF 507 in Fig. 2 also may be a two-stage filter as shown in Fig. 6 or a multistage filter (not shown) having two or more stages. The structure of Fig. 5 also may be a multistage filter having two or more stages. The HPF 507 also may be a multistage filter (not shown) composed of a resistance, a capacitor, a resistance, and a coil.

[0030] Instead of a filter composed of passive elements such as resistance, capacitor and coil, an active filter as shown in Fig. 7 using an active element such as an operational amplifier also may be used. As a matter of course, a resistance and coil (not shown) may be used instead of a resistance and capacitor.

[0031] In addition to the structure of Fig. 7, a resistance and capacitor also may be used to provide a two-stage filter as shown in Fig. 8 or a multistage filter having two or more stages (not shown). As a matter of course, a resistance and coil (not shown) also may be used instead of a resistance and capacitor.

[0032] Furthermore, the structure of Fig. 7 and that of Fig. 8 also may be combined to provide a multi-stage active filter composed of a plurality of operational amplifiers as shown in Fig. 9 (which is a five-stage filter in the case of Fig. 9). As a matter of course, any filter provided by the combinations of structures of Figs. 2, 5, 6, 7, 8, and 9 (not shown) or other filters having a structure including the other elements and having a similar function also may be used.

[0033] A filter composed of Figs. 2, 5, 6, 7, 8, and 9 or a filter composed of a combination of these also may have an appropriate value of a resistance, capacitor, coil or the like

so that the gain is 1 or a value other than 1 as necessary.
[0034] Next, a signal outputted from the HPF 507 is inputted to the LPF 508. As shown in Fig. 2, the LPF 508 is composed of the resistance R2, and the capacitor C2 and has a frequency characteristic in which a frequency component of an electric signal from the HPF 507 that is higher than the low-pass cutoff frequency flc is attenuated, as shown in Fig. 10. The low-pass cutoff frequency flc is calculated as shown below.

[0035]

$$flc = 1/(2\pi R2C2) \quad (3)$$

On the other hand, when assuming that the scanner in the probe 1 has a scanning range X at the high-speed driving side and the probe 1 has an optical resolution r, then the required number of displayed pixels required for the high-speed driving side of the scanner to make one round trip when the imaging apparatus 4 has an A/D conversion for imaging is at least $2X/r$. The reason why the scanning range is doubled is that a distance scanned during one cycle of the scanner high-speed driving side frequency fx goes and returns in the scanning range X. Thus, the sampling frequency fspl of A/D conversion at the imaging apparatus 4 can be calculated by multiplying the required number of displayed pixels during one round trip of the scanner high-speed driving side with the scanner high-speed driving

side frequency f_x , which is represented as shown below.

[0036]

$$f_{spl} = f_x \times (2X/r) = (2 \times X \times f_x)/r \quad (4)$$

According to the sampling theorem, the output to the imaging apparatus 4 requires the low-pass cutoff frequency to be set a value to $f_{spl}/2$ or lower. Thus, the low-pass cutoff frequency f_{lc} is as shown below.

[0037]

$$f_{lc} \leq f_{spl}/2 = (X \times f_x)/r \quad (5)$$

By the above calculation, when the scanner has a scanning range of $100\mu\text{m}$, a high-speed driving side frequency f_x of 500Hz , and an optical resolution of $0.5\mu\text{m}$ for example, then the values of the resistance R_2 and the capacitor C_2 of the formula (2) are determined such that the value of the low-pass cutoff frequency f_{lc} is 100kHz or lower from the formula (5).

[0038] When the scanner has a scanning range of $100\mu\text{m}$, a high-speed driving side frequency f_x of 3kHz , and an optical resolution of $0.5\mu\text{m}$ for example, then the values of the resistance R_2 and the capacitor C_2 of the formula (2) are determined so that the value of the low-pass cutoff frequency f_{lc} is 600kHz or lower from the formula (4).

[0039] By the above-described LPF 508, noise by the high frequency component of the higher harmonic of the driving

frequency of the high-speed driving side of the scanner can be removed, for example.

[0040] Although the LPF 508 in Fig. 2 is composed of the resistance R2 and the capacitor C2, the LPF 508 may also be composed of the resistance r and the coil L as shown in Fig. 11. However, the low-pass cutoff frequency flc in this case is represented as shown below.

$$[0041] \text{ flc} = R/2\pi L \quad (6)$$

The LPF 508 in Fig. 3 also may be used to provide a two-stage filter as shown in Fig. 12 or a multistage filter having two or more stages (not shown). As a matter of course, the structure of Fig. 11 may be a multistage filter having two or more stages. As a matter of course, the LPF 508 may be a multistage filter by a combination of a resistance and capacitor or the combination of a resistance and coil (not shown).

[0042] Instead of allowing a filter to be composed of passive elements such as a resistance, capacitor, and coil, the filter also may be an active filter using active elements such as an operational amplifier as shown in Fig. 13. As a matter of course, the filter also may be composed of a resistance and capacitor or a resistance and coil (not shown).

[0043] In addition to the structure shown in Fig. 13, a resistance and capacitor also may be used to provide a

multistage filter as shown in Fig.14 having two or more stages (not shown). As a matter of course, a resistance and coil also may be used instead of a resistance and capacitor.

[0044] Furthermore, the structures of Fig. 13 and Fig. 14 also may be combined to provide a multi-stage active filter as shown in Fig. 15 having a plurality of operational amplifiers (five-stage in the case of Fig. 15). As a matter of course, any filter (not shown) conceivable by a combination of the structures of Figs. 2, 11, 12, 13, 14, and 15 or any filter including other elements and having a similar function also may be used.

[0045] A filter composed of the structures of Figs. 2, 11, 12, 13, 14, and 15 or the combination thereof also may have an appropriate value of a resistance, capacitor, coil or the like to set the gain having a value of 1 or other than 1 as necessary.

[0046] Next, the tip end section 200 of the probe 1 will be described with reference to Fig. 16 to Fig. 19.

[0047] The probe 1 has a columnar shape as shown in Fig. 16. The exterior of the probe 1 is composed of the tube 224 and the coil pipe 225 stored therein. The coil pipe 225 has therein the optical fiber 217 and the electric cable 218. The tip end section has the coil pipe stopper 226 to which the tip end section of the coil pipe 225 is adhered. The interior of the

coil pipe stopper 226 is filled with the insulation substance 244 as shown by the shaded section of the drawing. The coil pipe stopper 226 is adhered with the guide pipe 227 and the tube 224 is fixed to them by the bobbin adhesion 228, as shown in the drawing.

[0048] The structure and manufacturing method of the scanning mirror 232 will be described later. The scanning mirror 232 is positioned as shown in the drawing via the cover glass 240 and the lens 237 and is electrically connected via the wiring 233, the substrate 234, the flexible substrate 235, the electric cable 218, and the signal line 1a to the control circuit 9 in the control apparatus 2. A conductive electric wire extending from the electric cable 218 to the flexible substrate 255 is covered with the insulation tube 236 as shown in the drawing.

[0049] The scanning mirror 232 is fixed to the mirror glass stand 231, the interval tube 230, and the ferrule 229 for fixedly holding the tip end section of the optical fiber 217. However, the scanning mirror 232 does not have a contact with the taper-shaped tip end of the ferrule 229 that is integrally polished with the optical fiber 217 and there is a slight clearance therebetween.

[0050] The lens 237 is adhered and fixed to the lens frame 238

and is fixed via the interval tube 239 to the mirror stand 231. Furthermore, the lens frame 238 is also fixed to the guide pipe 227. Furthermore, the lens frame 238 is also fixed to the guide pipe 227. As shown in Fig. 16(b), the interval tube 239 has a cross-sectional structure as shown by the cross-sectional line A-A.

[0051] The lens 237 has the mirror deposition section 245 in the vicinity of the center section.

[0052] The tip end cover 241 is fixed via the interval tube 242 to the lens frame 238. Furthermore, the tip end cover 241 is also adhered and fixed to the guide pipe 227. The tip end cover 241 is fixed with the cover glass 240. Furthermore, electric cable 218 has a GND line that is connected via the signal line 1a to the GND of the control apparatus 2. This GND line is welded with the conductive coil pipe 225 composing the tip end section of the probe 1, the coil pipe stopper 226, the flexible substrate 235, the substrate 234, the interval tube 230, the interval tube 239, the lens frame 238, the tip end cover 241, and the interval tube 242 at respective contact parts. These are all electrically conducted. The clearance between the tube 224 and the tip end cover 241 is filled with the adhesive agent 243.

[0053] In the scanning mirror 232, the silicon substrate 250

is etched as shown in Fig. 17 to provide the concave section 251. The back face is also etched to provide the concave section 248 and the penetration hole 247. The plate 252 is adhered onto the silicon substrate and is insulated by the oxide layer on the substrate from the silicon substrate 250. Furthermore, after being appropriately masked, then the plate 252 has at the upper face the nitride film 253 that is etched so that a part required for the mirror section 249 is left. Fig. 18 shows the mirror section 249 at this time seen from the upper face. The shaded section in the drawing shows a part including no nitride film.

[0054] Furthermore, the conductive layer is provided thereon as shown in Fig. 19 to manufacture the electrodes 254a, 254b, 254c, and 254d, the mirror section 249, and the wiring 253a, 253b, 253c, and 253d. These electrodes 254a and 254b also work as a mirror. Then, an appropriate etching is provided to remove a part not covered by the nitride film. At this time, both sides at the hinge sections 256 and 257 are under-etched to leave only the nitride film part, thereby allowing the center section 255 around this part as shown in Fig. 19. A sinusoidal wave is applied to allow the above-described electrodes 254a and 254b to have an inverted phase to each other so that the GND section formed in the concave section 248 is used to provide

a capacitor, thereby allowing the mirror section 249 to be resonantly driven in the X direction by an electrostatic force. The center section 255 also has at the center the center hole 246. The electrodes 253a, 253b, 253c, and 253d are connected via the above-described electric cable 218 and the signal line 1a to the connector 11 of the control apparatus 2.

[0055] Next, the operation of the optical system of the confocal light scanning probe apparatus will be described. The laser light from the LD 15 is supplied via the end section 8b, the fiber coupler 8, the end section 8a, the connector 17, the optical fiber 1c, the connector 11, and the optical fiber 1b to the core of the optical fiber 217. The light from the core of this optical fiber 217 passes through the penetration hole 247 of the silicon mirror 250 and the center hole 246 of the mirror section 249 to travel toward the lens 237. This light is reflected by the mirror deposition section 245 of the surface of the lens 237 and then travels toward the mirror section 249 of the scanning mirror 232 in an expanded manner, thereby being reflected by this. Then, this light is collected by the lens 237 and is allowed to pass through the cover glass 240 to have a focal point. The reflected light from this focal point passes through the light path that is the same as that of the incident light in the opposite direction and then is allowed to have

a focal point at the core of the optical fiber 217, thereby being made incident to this. At this time, reflected light coming from parts other than the focal point 259 cannot pass through the light path that is the same as that of the incident light and a very small amount thereof can be made incident on the core of the optical fiber 217. Specifically, this core functions as a small pin hole has a resolution equal to that of a confocal microscope.

[0056] Next, noise caused in the probe 1 will be described.

[0057] In contrast with image information of an observed object scanned by the scanning mirror 232, the scattered light at the output end section of the optical fiber 217 and/or the directly-reflected light to the optical fiber 217 of the mirror deposition section 245 of the surface of the lens 237 almost becomes the noise of a direct current component that is transmitted to the PMT unit 16 and that is subjected to photoelectric conversion.

[0058] Then, the HPF 507 of the above-described filter apparatus 501 is used to allow only a signal of a high frequency bandwidth component to pass therethrough to remove a direct current component so that the signal is converted to an alternate current signal as shown in Fig. 4(b). This can remove most of the noise of the direct current component. The LPF 508

also can be used to allow only a signal of a low frequency bandwidth component to pass therethrough so that noise of a high frequency component such as a higher harmonic caused by the influence of the driving of the scanner is removed.

[0059] Although the present embodiment provided the optical unit and the filter apparatus separately, another structure also may be provided in which they are united in an integrated manner. They can also be structured together with an imaging apparatus in an integrated manner. Another structure also may be provided in which at least two of a filter apparatus, an imaging apparatus, and optical unit are integrated.

[0060] In this way, the present embodiment allows the filter apparatus to remove a direct current component noise by the scattered light at the fiber end section in the probe and/or the direct reflection light at the mirror deposition section of the lens surface. This provides a sharp observed image having less noise and excellent S/N.

[0061] In particular, the scanner in the present embodiment has a relatively high resonant frequency at the high-speed driving side of 3kHz and thus an increased number of images per a unit time can be obtained. That is, the low speed driving side frequency is also high, the cutoff frequency of a high-pass filter circuit can be set high, and circuit elements to be

structured are selected easily, thereby allowing the scanner to be structured with a lower cost.

[0062] Fig. 20 and Fig. 21 relate to the second embodiment of the present invention. Fig. 20 is a cross-sectional view shown for explaining an example of the structure of the tip end section of the probe of the confocal light scanning probe apparatus. Fig. 21 is a perspective view of the main section for explaining an example of the structure of the tip end section of the probe of Fig. 20.

[0063] Since the second embodiment is almost the same as the first embodiment, only different points will be described. Structures the same as those in the first embodiment are provided with the same reference numerals and a description is omitted.

[0064] The tip end section 300 of the probe 1A includes the scanning unit 305 as a light scanning means, the tip end cover unit 306, and the optical frame 307. The optical frame 307 is fixed to the tip end section of the outer tube 308 of the probe 1A.

[0065] The scanning unit 305 has the base 309 fixed to the optical frame 307. The base 309 is provided, in order not to move easily, to have a weight greater than that of the lens frame 314 and/or the objective lens 315 as a focusing means

as described later.

[0066] The base 309 is fixed with the tip end section of the optical fiber 302.

[0067] Both sides of the base 309 are adhered with the thin plates 310. The thin plate 310 is adhered with the piezoelectric element 304 polarized at the rear thickness part. The piezoelectric element 304 is connected with the electric cable 303 for driving the piezoelectric element 304. This electric cable 303 is connected via the interior of the tip end section 300 of the probe 1A to the signal line 1a of Fig. 1 and is connected via the connector 11 to the control apparatus 2.

[0068] The tip end section of the thin plate 310 is fixed to the intermediate member 311. The intermediate member 311 is fixed to two parallel thin plates 312a and 312b. The thin plates 312a and 312b are adhered with the piezoelectric elements 313a and 313b.

[0069] The tip ends of the thin plates 312a and 312b are fixed with the lens frame 314. This lens frame 314 is fixed with the objective lens 315 and the ferrule 316 for fixedly holding the tip end section of the optical fiber 302. After being fixed to the ferrule 316, the tip end section 300 of the probe 1A of the optical fiber 302 is integrally polished with the ferrule 316 to provide additional antireflection film. The

piezoelectric elements 313a and 313b are connected via the electric cable 303 to the signal line 1a of Fig. 1 and is connected via the connector 11 to the control circuit 15.

[0070] The small displacement sensor 350 is adhered and fixed to the lens frame 314 and is electrically connected via the electric cable 303 and the signal line 1a to the control apparatus 2. The displacement sensor 350 recognizes, with regards to the position of the scanner in the X direction, the left end of a displayed image in the monitor 5 as a reference to output the maximum voltage at which the position of the scanner is at the farthest position, that is, the position at the right end of the image, thereby transmitting the voltage to the control circuit 15 in the control apparatus 2.

[0071] The tip end cover unit 306 consists of the cover holder 317 and the cover glass 318 fixed to the cover holder 317. The cover holder 317 is fixed to the tip end section of the optical frame 307.

[0072] The structure as described above seals the tip end section 300 of the probe 1A.

[0073] The operation of the confocal light scanning probe apparatus using such a probe 1A will be described with reference to Fig. 1, Fig. 20, and Fig. 21.

[0074] The laser light from the LD 15 is transmitted via the

end section 8b, the 4-terminal coupler 8, the end section 8a, the connector 17, the optical fiber 1c, the connector 11, and the optical fiber 1b to the tip end section 300 of the probe 1A and is outputted from the tip end face of the tip end section 300 of the probe 1A toward the objective lens 315.

[0075] In this case, the tip end section of the optical fiber 302 is fixed to the ferrule 316 and is integrally polished and has at the polished end face an antireflection film. The optical fiber 302 has at the end face a very small amount of reflected light.

[0076] The electric cable 303 has a ground line connected via the signal line 1a to the ground of the control apparatus 2. The ground line and the optical frame 307, the base 309, and the cover holder 317 which are a conductive section in the tip end section 300 of the probe 1A are welded at each contact part and they are all electrically conducted.

[0077] The light generated from the core 321 of the end face of the optical fiber 302 is collected by the objective lens 315 and passes through the cover glass 318, thereby providing the focal point 323 in the interior of the observed object 332.

[0078] The reflected light coming from parts other than this focal point 323 passes through the light path that is the same as that of the incident light in the opposite direction and

a very small part thereof can be made incident again on the core 321 of the optical fiber 302. This core 321 functions as a small pin hole to have a resolution equal to that of a confocal microscope. When the control circuit 9 in the control apparatus 2 in this status is operated, then a driving signal from the control circuit 9 is transmitted via the signal line 9b, the connector 11, the signal line 1a, and the electric cable 303 to the piezoelectric element 304 and the piezoelectric elements 313a and 313b. This allows the piezoelectric element 304 and the piezoelectric elements 313a and 313b to have expansion and contraction depending on a voltage. Then, the piezoelectric element 304 is provided on the thin plate 310 while the piezoelectric elements 313a and 313b are provided on the thin plates 312a and 312b, respectively, and thus they operate to bend the thin plate 310 and the thin plates 312a and 312b. [0079] Specifically, when the piezoelectric elements 313a and 313b are applied with sinusoidal waves having inverted phases to each other, then lens frame 314 vibrates. This causes the objective lens 315 and the tip end section of the optical fiber 302 to move and the position of the focal point 323 of the laser light is scanned in the X direction (see Fig. 20). In this case, the driving with a resonant frequency of this scanner system provides a large displacement.

[0080] On the other hand, when the control circuit 9 is used to cause the piezoelectric element 304 to have expansion and contraction, then the position of the focal point 323 of the laser light is scanned in the Y direction vertical to the X direction. In this case, the vibration frequency in the Y direction is made sufficiently slower than the scan frequency in the X direction, thereby allowing the focal point 323 to be subjected to raster scanning. In accordance with this, reflected light at each point of the scanned face 324 is transmitted by the optical fiber 302.

[0081] Using such a probe 1A instead of the above-described first embodiment makes possible the confocal light scanning probe apparatus.

[0082] Next, noise caused in the probe 1A will be described.

[0083] Although the probe 1A does not include a fixed reflector as in the case of the mirror deposition section 245 of the probe 1 described in the above-described first embodiment, the probe 1A includes noise of almost a direct current component due to the fact that the scattered light at the output end section of the optical fiber 302 again returns to the optical fiber 302. The noise is transmitted to the PMT unit 16 and is subjected to photoelectric conversion.

[0084] To prevent this, the above-described HPF 507 of the

filter apparatus 501 is used to allow only a signal of a high frequency bandwidth component to pass therethrough to remove a direct current component so that the signal is converted to an alternate current signal as shown in Fig. 4(b). This can remove most of the noise of the direct current component. The LPF 508 also can be used to allow only a signal of a low frequency bandwidth component to pass therethrough to reduce the noise of a high frequency component caused by driving of the scanner such as a higher harmonic.

[0085] In this way, the present embodiment uses the filter apparatus to remove the direct current component noise caused by the scattered light at the fiber end section in the probe. This can provide a sharp observed image having less noise and good S/N.

[0086] In particular, the scanner in the present embodiment has a low high-speed driving side resonant frequency of about 500Hz. This can allow a cutoff frequency of the low-pass filter circuit to be set lower, and circuit elements to be structured are selected easily, thereby allowing the scanner to be structured with a lower cost.

[0087]

[Effects of the Invention] As described above, the present invention provides an effect in which a sharp observed image

having less noise and good S/N can be obtained.

[BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS]

[Fig. 1] A block diagram illustrating the structure of the confocal light scanning probe apparatus according to the first embodiment of the present invention.

[Fig. 2] A structure diagram illustrating the structure of the filter apparatus of Fig. 1.

[Fig. 3] A diagram illustrating the frequency characteristic of the HPF of Fig. 2.

[Fig. 4] A diagram for explaining the operation of the HPF of Fig. 2.

[Fig. 5] A diagram illustrating the structure of the first modification example of the HPF of Fig. 2.

[Fig. 6] A diagram illustrating the structure of the second modification example of the HPF of Fig. 2.

[Fig. 7] A diagram illustrating the structure of the third modification example of the HPF of Fig. 2.

[Fig. 8] A diagram illustrating the structure of the fourth modification example of the HPF of Fig. 2.

[Fig. 9] A diagram illustrating the structure of the fifth modification example of the HPF of Fig. 2.

[Fig. 10] A diagram illustrating the frequency characteristic of the LPF of Fig. 2.

[Fig. 11] A diagram illustrating the structure of the first modification example of the LPF of Fig. 2.

[Fig. 12] A diagram illustrating the structure of the second modification example of the LPF of Fig. 2.

[Fig. 13] A diagram illustrating the structure of the third modification example of the LPF of Fig. 2.

[Fig. 14] A diagram illustrating the structure of the fourth modification example of the LPF of Fig. 2.

[Fig. 15] A diagram illustrating the structure of the fifth modification example of the LPF of Fig. 2.

[Fig. 16] A cross-sectional view illustrating the tip end section of the probe of Fig. 1.

[Fig. 17] A cross-sectional view illustrating the structure of the scanner of the probe of Fig. 16.

[Fig. 18] A plain view illustrating the structure of the scanner of Fig. 17.

[Fig. 19] A plain view illustrating a detailed structure of the scanner of Fig. 17.

[Fig. 20] A cross-sectional view shown for explaining the tip end section of the probe of the confocal light scanning probe apparatus according to the second embodiment of the present invention.

[Fig. 21] A perspective view of the main section for explaining

an example of the structure of the tip end section of the probe of Fig. 20.

[Description of Symbols]

1, 1A Probe
2 Control apparatus
3 Optical unit
4 Imaging apparatus
5 Monitor
7 External clock generator
8 4-terminal coupler
9 Control circuit
11, 13, 17, 18, 19, 24, 25, 26 Connector
15 LD
16 PMT unit
501 Filter apparatus
502, 503, 504, 505 Connector
506 Filter circuit
507 HPF
508 LPF

Fig.1

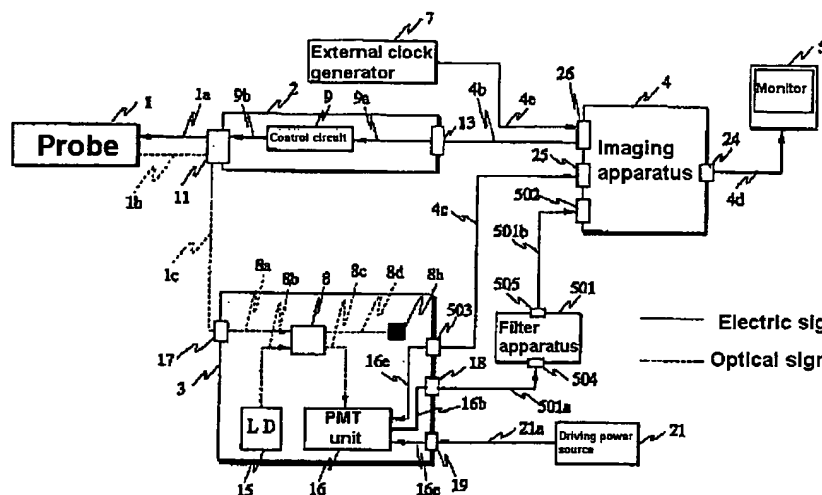


Fig.3

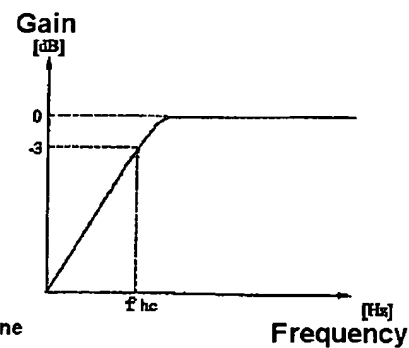


Fig.7

Fig.2

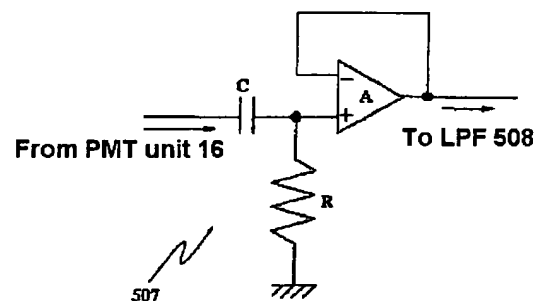
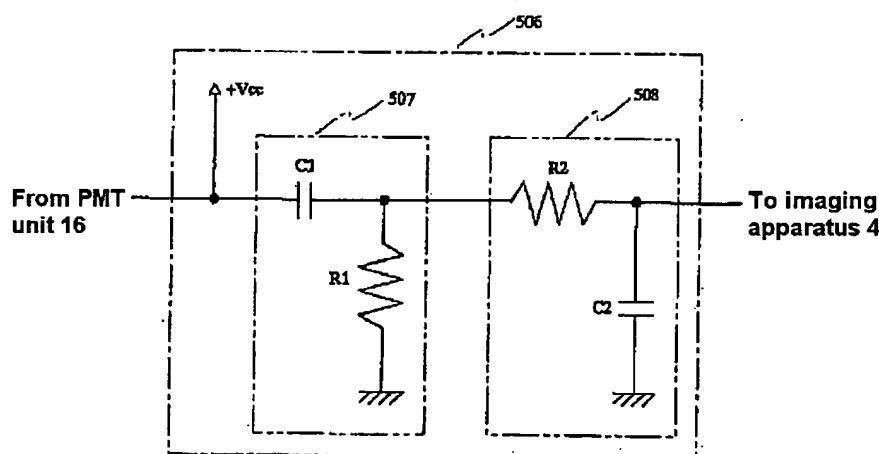


Fig.11

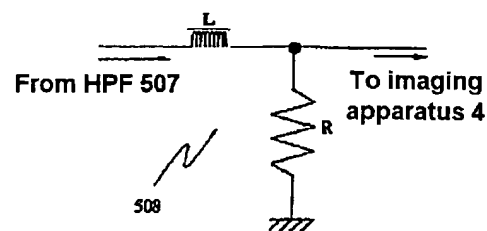


Fig. 4

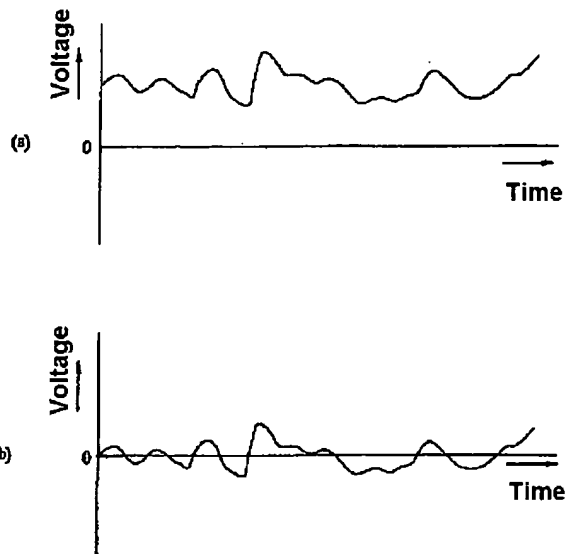


Fig. 5

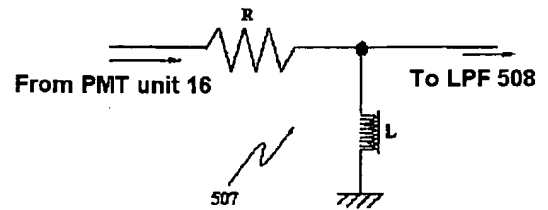


Fig.6

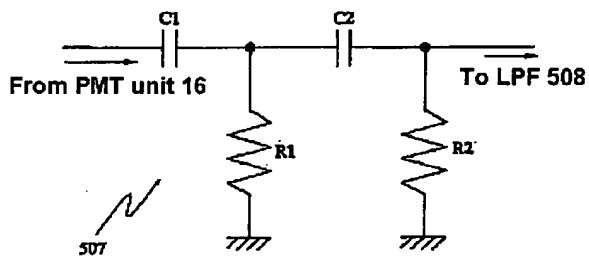


Fig.8

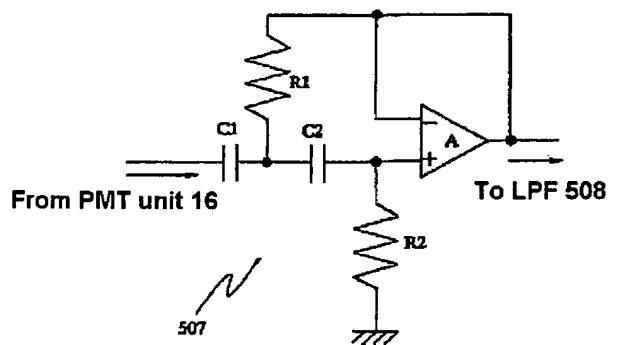
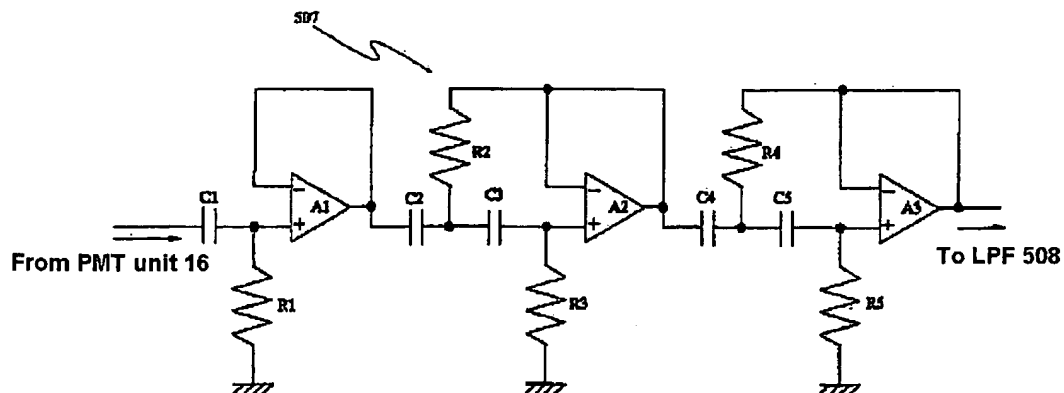


Fig.9



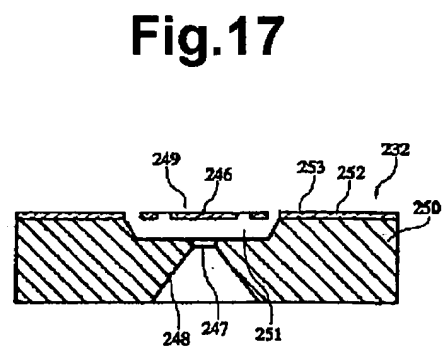
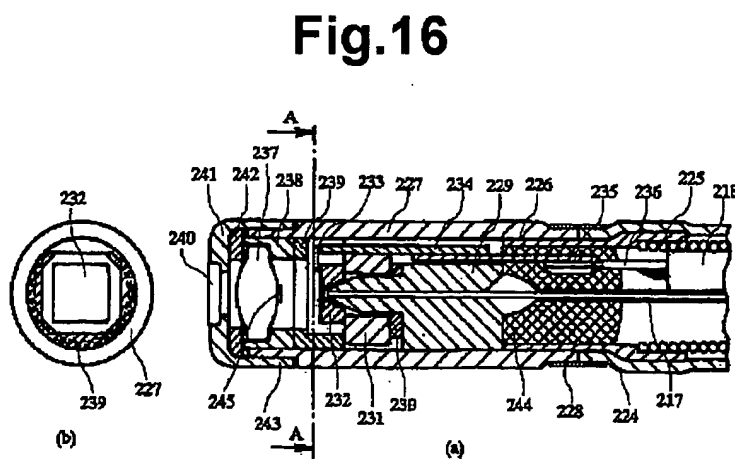
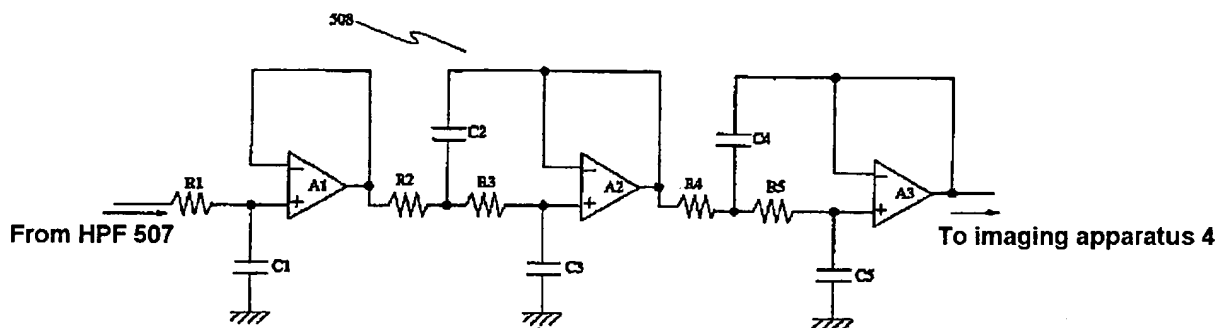
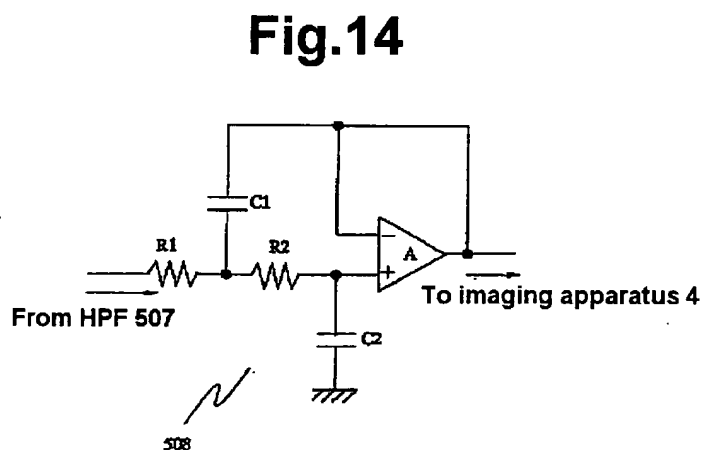
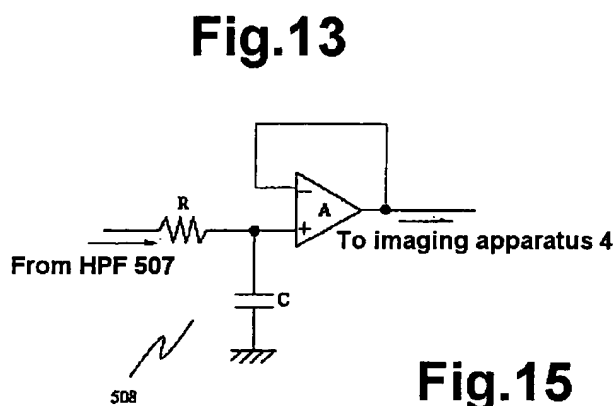
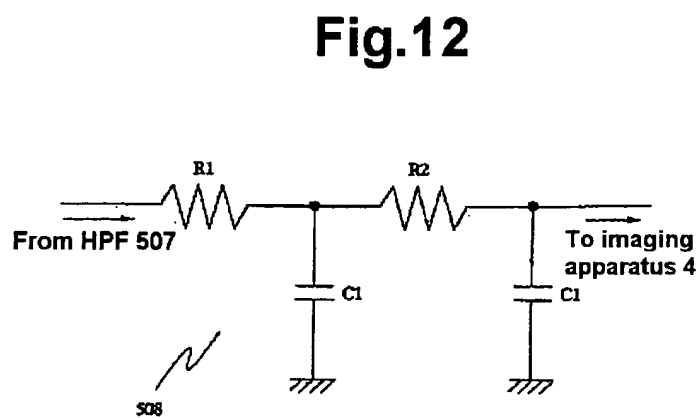
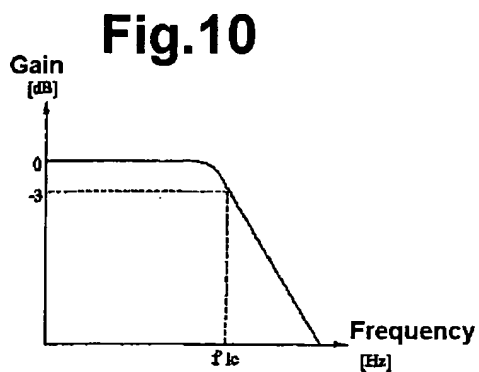


Fig.18

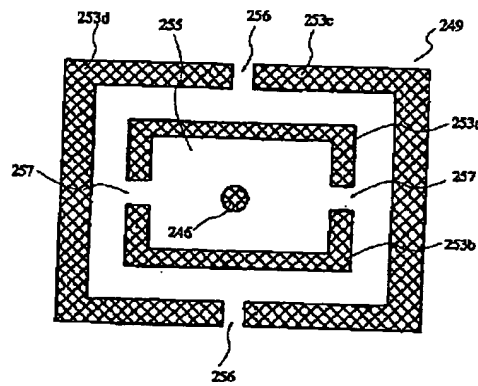


Fig.19

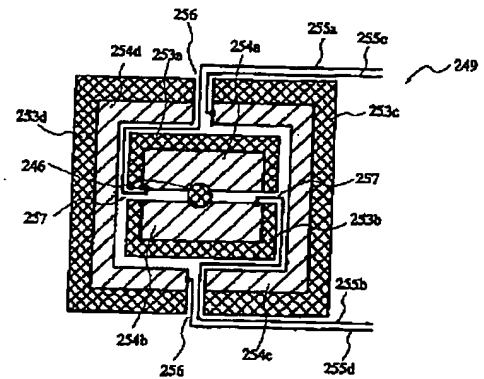


Fig.20

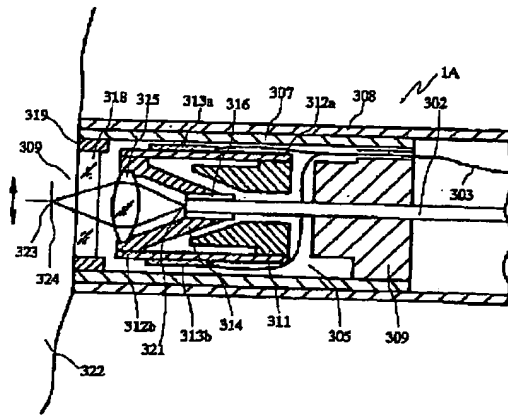


Fig.21

